

5. Дети, подростки, взрослые, а также беременные женщины, имеющие статус "пострадавший от катастрофы на ЧАЭС", проходят диспансеризацию с выполнением необходимых обследований в сроки и объемах, предусмотренных иными нормативными правовыми актами МЗ РБ, с учетом требований настоящего Положения.

6. Дети и подростки при обнаружении у них заболеваний кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественных опухолей других локализаций, а также инвалиды вследствие катастрофы на ЧАЭС, не имевшие прежде статуса "пострадавший от катастрофы на ЧАЭС" (7-я группа первичного учета), наблюдаются специализированными учреждениями по профилю имеющихся у них заболеваний. Учетно-отчетная документация ведется по месту жительства больного согласно установленному порядку.

7. Дозиметрический контроль проводится в соответствии с действующими нормативными правовыми актами МЗ РБ по проведению обследования на счетчиках излучения человека.

8. Объем и частота профилактических осмотров населения согласно приложению к настоящему Положению являются минимальными и обязательными для выполнения на всей территории Республики Беларусь.

9. Консультативная помощь лицам, пострадавшим вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, оказывается ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии», а также другими профильными научно-исследовательскими центрами (и институтами) по направлениям учреждений здравоохранения.

10. Общее руководство диспансеризацией в Республике Беларусь осуществляет МЗ РБ, на областном уровне – управления здравоохранения (охраны здоровья) областных исполнительных комитетов (в городе Минске – комитет по здравоохранению Мингорисполкома), на районном уровне – главные врачи районных территориальных медицинских объединений, в лечебно-профилактических учреждениях – главный врач.

11. Диспансеризация осуществляется при взаимодействии и преемственности в работе между учреждениями здравоохранения и взаимосвязи с органами государственной власти, другими учреждениями, организациями, ведомствами, ассоциациями.

12. При проведении профилактических медицинских осмотров пострадавшего населения необходимо:

12.1. Проводить профилактические онкологические осмотры;

12.2. Проводить профилактическое обследование на туберкулез в соответствии с действующими актами МЗ РБ;

12.3. Оценивать визуально и пальпаторно статус щитовидной железы с обязательной отметкой результатов в амбулаторной карте.

Приложение к Положению о диспансеризации граждан, пострадавших вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, и приравненных к ним категорий населения

Объем и частота медицинских осмотров граждан, пострадавших вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС

Группы первичного учета.

Первая группа первичного учета – лица, принимавшие участие в работах по ликвидации катастрофы на ЧАЭС и ее последствий.

Подгруппа 1.1. Лица, принимавшие участие в работах по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986-1987 годах в пределах зоны эвакуации.

Подгруппа 1.2. Лица, принимавшие участие в работах по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986-1987 годах в зонах первоочередного и последующего отселения, в 1988-1989 годах в пределах зоны эвакуации.

Таблица 4.5

Объем и частота медицинских осмотров граждан первой группы первичного учета

Подгруппы	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования
1.1	1 раз в год	Терапевт Эндокринолог Офтальмолог Отоларинголог Невропатолог Гинеколог Онколог Другие специалисты по показаниям	Общий клинический анализ крови Тромбоциты ЭКГ УЗИ щитовидной железы Другие исследования по показаниям
1.2	1 раз в год	В объеме, установленном для лиц подгруппы 1.1 первичного учета	

Вторая группа первичного учета – лица, эвакуированные или самостоятельно покинувшие зону эвакуации в 1986 году.

Таблица 4.6

Объем и частота медицинских осмотров граждан второй группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования
Подростки	1 раз в год	Терапевт подростковый Эндокринолог Офтальмолог Отоларинголог Невропатолог Гинеколог Онколог Другие специалисты по показаниям	Общий клинический анализ крови Тромбоциты ЭКГ УЗИ щитовидной железы Другие исследования по показаниям
Взрослые	1 раз в год	Терапевт Эндокринолог Офтальмолог Отоларинголог Невропатолог Гинеколог Онколог Другие специалисты по показаниям	Общий клинический анализ крови Тромбоциты ЭКГ УЗИ щитовидной железы Другие исследования по показаниям

Третья группа первичного учета – лица, проживающие в зонах первоочередного и последующего отселения, а также отселенные или самостоятельно выехавшие из этих зон после катастрофы.

Таблица 4.7

Объем и частота медицинских осмотров граждан третьей группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования
Дети Подростки Взрослые	1 раз в год	Педиатр Терапевт подростковый Терапевт Эндокринолог (для проживающих на загрязненных территориях) Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Дозиметрический контроль (для проживающих на загрязненных территориях) Другие исследования по показаниям

Четвертая группа первичного учета – родившиеся от лиц 1-3 групп первичного учета и их последующие поколения, в том числе подгруппа 4.1 – родившиеся от лиц группы риска А и лиц 2-й группы первичного учета групп риска Б, В и их последующие поколения.

Таблица 4.8

Объем и частота медицинских осмотров граждан четвертой группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования
Дети, в том числе подгруппа 4.1	1 раз в год	В соответствии с нормативными правовыми актами, регламентирующими наблюдение за детским населением Республики Беларусь Эндокринолог Другие специалисты по показаниям	
Подростки	1 раз в год	Терапевт подростковый Эндокринолог Другие специалисты по показаниям	Общий клинический анализ крови Другие исследования по показаниям
Взрослые	1 раз в год	Терапевт Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Другие исследования по показаниям

Пятая группа первичного учета – лица, проживающие в зонах с правом на отселение и периодическим радиационным контролем, а также выехавшие из этих зон, но имеющие установленную причинную связь заболевания, приведшего к инвалидности, и выехавшие, отнесенные прежде к группе риска В.

Таблица 4.9

Объем и частота медицинских осмотров граждан пятой группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования

Дети	1 раз в год	В соответствии с нормативными правовыми актами, регламентирующими наблюдение за детским населением Республики Беларусь	
		Другие специалисты по показаниям	Дозиметрический контроль Другие исследования по показаниям
Подростки	1 раз в год	Терапевт подростковый Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Дозиметрический контроль Другие исследования по показаниям
Взрослые	Не реже 1 раза в 2 года	Терапевт Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Дозиметрический контроль для лиц, относящихся к группам риска Другие исследования по показаниям

Шестая группа первичного учета – лица, участвовавшие в ликвидации или пострадавшие от аварии и ее последствий на других атомных объектах гражданского или военного назначения, что подтверждается соответствующими документами.

Таблица 4.10

Объем и частота медицинских осмотров граждан шестой группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования
Дети Подростки Взрослые	1 раз в год	Педиатр Терапевт подростковый Терапевт Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Другие исследования по показаниям

Седьмая группа первичного учета – дети и подростки при обнаружении у них заболеваний кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественных опухолей, а также инвалиды вследствие катастрофы на ЧАЭС из числа граждан, не имевших статуса "пострадавший от катастрофы на Чернобыльской АЭС", независимо от места их проживания.

Таблица 4.11

Объем и частота медицинских осмотров граждан седьмой группы первичного учета

Категории по возрасту	Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров	
		Врачи-специалисты	Исследования

Дети Подростки Взрослые	1 раз в год	Педиатр Терапевт подростковый Терапевт Врачи по профилю основного заболевания Другие специалисты по показаниям	Анализ крови (СОЭ, лейкоциты, гемоглобин) Другие исследования по показаниям по профилю основного заболевания
-------------------------------	-------------	--	--

Группы риска. Периодичность и объем диспансерного наблюдения.

Группа риска А (из числа лиц подгруппы 1.1 1-й группы первичного учета) – лица, принимавшие в 1986 году участие в ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в пределах зоны эвакуации.

Таблица 4.12

Периодичность и объем диспансерного наблюдения группы риска А

Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров
1 раз в год	В объеме, установленном для лиц подгруппы 1.1. 1-й группы первичного учета

Группа риска Б (из числа 2-3-й групп первичного учета) – лица, получившие за первый год после катастрофы дозовые нагрузки за счет внешнего и внутреннего облучения по спискам, сформированным Республиканским диспансером радиационной медицины.

Таблица 4.13

Периодичность и объем диспансерного наблюдения группы риска Б

Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров
2 раза в год (1-й раз – по месту жительства, 2-й раз – в специализированных медицинских учреждениях по направлениям поликлиник, районных территориальных медицинских объединений)	Терапевт (педиатр, терапевт подростковый) Эндокринолог, невропатолог, офтальмолог, отоларинголог, гинеколог, онколог Общий клинический анализ крови, УЗИ щитовидной железы Для проживающих на загрязненной территории дозиметрический контроль не реже 1 раза в год Другие специалисты и исследования по показаниям

Группа риска В по эндокринной патологии (из лиц 2-5-й групп первичного учета) – лица, подвергшиеся воздействию радиоактивного йода вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, в возрасте от 0 (внутриутробно) до 18 лет на момент аварии (1968-1986 годов рождения), которые не отнесены к группе риска Б.

Таблица 4.13

Периодичность и объем диспансерного наблюдения группы риска В

Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров
------------------	---

1 раз в год	В объеме, установленном для соответствующей группы первичного учета Эндокринолог УЗИ щитовидной железы
-------------	--

Группа риска Г – лица, у которых вследствие внутреннего облучения результаты измерения на СИЧ в течение года превышают допустимые уровни и не имеют тенденции к снижению.

Таблица 4.14

Периодичность и объем диспансерного наблюдения группы риска Г

Частота осмотров	Обязательный объем медицинских осмотров
2 раза в год 1-й раз – по месту жительства, 2-й раз – в клинике Научно-исследовательского клинического института радиационной медицины и эндокринологии	Терапевт (терапевт подростковый, педиатр), невропатолог, офтальмолог, отоларинголог, эндокринолог Общий клинический анализ крови, тромбоциты, ЭКГ, ФГДС Другие обследования, включая медико-генетические консультации, по показаниям

Глава V. Методы лучевой диагностики

Общие принципы визуализации медицинских изображений

По современным данным с помощью лучевых методов исследования ставится от 60 до 80% всех первичных диагнозов.

Наиболее широко для визуализации непрозрачных и недоступных прямому наблюдению анатомических органов и систем используются электромагнитные излучения. В настоящее время известны электромагнитные излучения с длиной волны от десяти миллиардных долей миллиметра до сотен километров.

Широкая область электромагнитного излучения (0,001-10 нм) принадлежит рентгеновским лучам. Рентгенодиагностика – распространенный вид медицинской интроскопии. В настоящее время в медицине с помощью рентгеновских лучей получают около 90% всех визуализируемых изображений. Электромагнитное ионизирующее излучение, создаваемое радиоактивными веществами называется гамма-излучением. Радиоизотопная диагностика, которая основана на визуализации изображений, формируемых гамма-квантами радионуклидов, широко применяется при функциональных исследованиях, диагностике ряда заболеваний.

Большие возможности содержат в себе резонансные эффекты, наблюдаемые в веществе – ядерный магнитный резонанс.

Широкое применение в медицине нашло звуковидение – совокупность методов и средств для получения оптического изображения ультразвукового поля, возникающего в результате взаимодействия упругих акустических волн и объекта. По периодам волн от 1 мм до 10 км ультразвук совпадает с радиодиапазоном.

Любое изображение приобретает смысл в результате его анализа зрительной системой и последующей интерпретации на основе сведений о характере взаимодействия физического поля и изучаемого объекта (рис. 5.1).

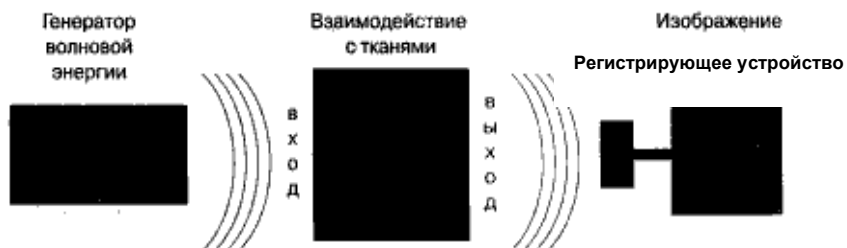


Рис. 5.1. Схема получения изображения в медицинской радиологии

В актах визуализации и анализа полученного изображения участвуют исследуемый объект, который модулирует параметры визуализируемого физического поля, система визуализации изображения и зрительный анализатор наблюдения (врача, оператора). Эта схема не соответствует радионуклидной визуализации, при которой источник гамма-излучения (радионуклиды) находится внутри тела человека.

Прошедшее отражение или испускаемое исследуемым объектом излучение промодулировано по одному или нескольким параметрам свойствами исследуемого объекта и содержит определенную информацию о нём. Пространственное распределение поля излучения объекта преобразуется устройством визуализации в аналогичное пространственное распределение светового потока, яркость или цвет которого изменяется от элемента к элементу изображения в зависимости от модулированных объектом параметров поля. Важно подчеркнуть, что при любом способе преобразования невидимого изображения в оптическое последнее не может содержать больше информации об объекте исследования, чем исходное изображение, сформированное в невидимом физическом поле. Входное и выходное изображения систем визуализации характеризуется следующими информативными параметрами: геометрическими размерами, детальностью, резкостью, подвижностью, контрастом, интенсивностью в белом (черном), отношением сигнал/шум и спектром (цветом) деталей изображения.

Рентгеновское и гамма-излучения являются наиболее распространенными видами излучения, при помощи которых получают световые изображения в медицинской диагностике. Получение световых изображений можно описать с помощью цепочки преобразований вида

$$\gamma_f \rightarrow \gamma_n - h\nu_1 \rightarrow h\nu_n, \text{ где}$$

γ_f – кванты рабочего пучка излучения источника;

γ_n – кванты радиационного изображения, т.е. изображения, сформированного излучением в результате взаимодействия рабочего пучка с ослабляющей средой;

$h\nu_1$ – фотоны (кванты), конвертируемые первичным преобразователем “ионизирующее излучение - свет”;

$h\nu_n$ – фотоны изображения, непосредственно воспринимаемые глазом человека.

Лучевое изображение в большинстве случаев представляет собой карты интегралов коэффициентов изменения излучения изучаемой средой, которые зависят от её химического состава и физического состояния. В лучевых изображениях в основном представлена морфологическая информация. Например, рентгеновский снимок грудной клетки даёт в большинстве случаев информацию об анатомическом строении органов человека. Однако в части изображений содержится информация о физиологическом состоянии органов человека. Так, если пациент ингалирует воздух, содержащий нуклид ^{133}Xe , то в этом случае вариации распределения нуклида в легких будут давать информацию о пространственных характеристиках воздушного потока в легких. Указанное распределение может быть визуализировано при помощи гамма-излучения,

испускаемого ксеноном.

Как и любую систему передачи информации, систему лучевой диагностики можно представить в виде пространственно-временного фильтра, составленного из нескольких каскадов:

- 1) каскада генерации излучения (рентгеновская трубка, радионуклид, пьезоэлектрический кристалл, источник радиоволн в магнитном поле);
- 2) каскада модуляции, который представляется пространственно-временной неравномерностью исследуемого объекта;
- 3) каскада детектирования (канала регистрации лучевого изображения);
- 4) каскада преобразования в световое изображение и его диагностической оценки.

Представленным выше каскадам соответствуют процессы: 1) генерация излучения, его 2) взаимодействия с органами пациента и 3) формирования лучевого изображения, преобразование последнего в световое, 4) просмотр светового изображения и его профессиональная оценка.

Первые три процесса имеют физико-технический смысл, хотя некоторые из них связаны с физиологическими функциями органа или анатомической системы пациента; четвертый, помимо физических проблем, включает и физиологические, связанные со зрительным аппаратом лучевого диагноста. Пятый процесс – чисто профессиональный – заключается в том, чтобы из всего многообразия отображенных деталей в световом изображении выделить необходимые, руководствуясь опытом и знанием других клинических данных, поставить правильный диагноз.

Рентгенологические методы исследования

Рентгенология как наука берет своё начало от 8 ноября 1995 г., когда немецкий физик профессор Вильгельм Конрад Рентген открыл лучи, впоследствии названные его именем. Сам Рентген назвал их X-лучами. Это название сохранилось на его родине и в странах запада.

Основные свойства рентгеновских лучей:

1. Рентгеновские лучи, исходя из фокуса рентгеновской трубки, распространяются прямолинейно.
2. Они не отклоняются в электромагнитном поле.
3. Скорость распространения их равняется скорости света.
4. Рентгеновские лучи невидимы, но, поглощаясь некоторыми веществами, они заставляют их светиться. Это свечение называется флюоресценцией, оно лежит в основе рентгеноскопии.
5. Рентгеновские лучи обладают фотохимическим действием. На этом свойстве рентгеновских лучей основывается рентгенография (общепринятый в настоящее время метод производства рентгеновских снимков).
6. Рентгеновское излучение обладает ионизирующим действием и придает воздуху способность проводить электрический ток. Ни видимые, ни тепловые, ни радиоволны не могут вызвать это явление. На основе этого свойства рентгеновское излучение, как и излучение радиоактивных веществ, называется ионизирующим излучением.
7. Важное свойство рентгеновских лучей – их проникающая способность, т.е. способность проходить через тело и предметы. Проникающая способность рентгеновских лучей зависит:
 - а) от качества лучей. Чем короче длина рентгеновских лучей (т.е. чем жестче рентгеновское излучение), тем глубже проникают эти лучи и, наоборот, чем длиннее волна лучей (чем мягче излучение), тем на меньшую глубину они проникают;
 - б) от объема исследуемого тела: чем толще объект, тем труднее рентгеновские лучи “пробивают” его.

Проникающая способность рентгеновских лучей зависит от химического состава и строения исследуемого тела. Чем больше в веществе, подвергнутом действию рентгеновских лучей, атомов элементов с высоким атомным весом и порядковым номером (по таблице Менделеева), тем сильнее оно поглощает рентгеновское излучение и, наоборот, чем меньше атомный вес, тем прозрачнее вещество для этих лучей. Объяснение этого явления в том, что в электромагнитных излучениях с очень малой длиной волны, каковыми являются рентгеновские лучи, сосредоточена большая энергия.

8. Лучи Рентгена обладают активным биологическим действием. При этом критическими структурами являются ДНК и мембраны клетки.

Необходимо учитывать еще одно обстоятельство. Рентгеновы лучи подчиняются закону обратных квадратов, т.е. интенсивность рентгеновских лучей обратно пропорциональна квадрату расстояния.

Гамма-лучи обладают такими же свойствами, но эти виды излучений различаются по способу их получения: рентгеновское излучение получают на высоковольтных электрических установках, а гамма - излучение - вследствие распада ядер атомов.

Методы рентгенологического исследования делятся на основные и специальные, частные. К основным методам рентгенологического исследования относятся: *рентгенография, рентгеноскопия, электрорентгенография, компьютерная рентгеновская томография.*

Рентгеноскопия – просвечивание органов и систем с применением рентгеновских лучей. Рентгеноскопия – анатомо-функциональный метод, который предоставляет возможность изучения нормальных и патологических процессов и состояний организма в целом, отдельных органов и систем, а также тканей по теневой картине флюоресцирующего экрана.

Преимущества: а) позволяет исследовать больных в различных проекциях и позициях, в силу чего можно выбрать положение, при котором лучше выявляется патологическое тенеобразование; б) возможность изучения функционального состояния ряда внутренних органов: легких, при различных фазах дыхания; пульсацию сердца с крупными сосудами; в) тесное контактирование врача-рентгенолога с больными, что позволяет дополнить рентгенологическое исследование клиническим (пальпация под визуальным контролем, целенаправленный анамнез) и т.д.

Недостатки: сравнительно большая лучевая нагрузка на больного и обслуживающий персонал; малая пропускная способность за рабочее время врача; ограниченные возможности глаза исследователя в выявлении мелких тенеобразований и тонких структур тканей и т.д. Показания к рентгеноскопии ограничены.

Электронно-оптическое усиление (ЭОУ). Работа электронно-оптического преобразователя (ЭОП) основана на принципе преобразования рентгеновского изображения в электронное с последующим его превращением в усиленное световое. Яркость свечения экрана усиливается до 7 тыс. раз. Применение ЭОУ позволяет различать детали величиной 0,5 мм, т.е. в 5 раз более мелкие, чем при обычном рентгеноскопическом исследовании. При использовании этого метода может применяться рентгенокинематография, т.е. запись изображения на кино- или видеопленку.

Рентгенография – фотосъемка посредством рентгеновских лучей. При рентгенографии снимаемый объект должен находиться в тесном соприкосновении с кассетой, заряженной пленкой. Рентгеновское излучение, выходящее из трубки, направляют перпендикулярно на центр пленки через середину объекта (расстояние между фокусом и кожей больного в обычных условиях работы 60-100 см). Необходимым оснащением для рентгенографии являются кассеты с усиливающими экранами, отсеивающие решетки и специальная рентгеновская пленка. Кассеты делают из светонепроницаемого материала и по величине соответствуют стандартным размерам

выпускаемой рентгеновской пленки (13 × 18 см, 18 × 24 см, 24 × 30 см, 30 × 40 см и др.).

Усиливающие экраны предназначены для увеличения светового эффекта рентгеновых лучей на фотопленку. Они представляют картон, который пропитывается специальным люминофором (вольфрамо-кислым кальцием), обладающий флюоресцирующим свойством под влиянием рентгеновых лучей. В настоящее время широко применяются экраны с люминофорами, активированными редкоземельными элементами: бромидом окиси лантана и сульфитом окиси гадолиния. Очень хороший коэффициент полезного действия люминофора редкоземельных элементов способствует высокой светочувствительности экранов и обеспечивает высокое качество изображения. Существуют и специальные экраны – Gradual, которые могут выравнивать имеющиеся различия в толщине и (или) плотности объекта съемки. Использование усиливающих экранов сокращает в значительной степени время экспозиции при рентгенографии (рис. 5.2).



Рис. 5.2.

Рентгенография грудной клетки в прямой проекции.

Для отсеивания мягких лучей первичного потока, который может достигнуть пленки, а также вторичного излучения, используются специальные подвижные решетки. Обработка заснятых пленок проводится в фотолаборатории. Процесс обработки сводится к проявлению, полосканию в воде, закреплению и тщательной промывке плёнки в текучей воде с последующей сушкой. Сушка пленок проводится в сушильных шкафах, что занимает не менее 15 мин. или происходит естественным путём, при этом снимок бывает готовым на следующий день. При использовании проявочных машин снимки получают сразу после исследования. Преимущество рентгенографии: устраняет недостатки рентгеноскопии. Недостаток: исследование статическое, отсутствует возможность оценки движения объектов в процессе исследования.

Электрорентгенография. Метод получения рентгеновского изображения на полупроводниковых пластинах. Принцип метода: при попадании лучей на высокочувствительную селеновую пластину в ней меняется электрический потенциал. Селеновая пластинка посыпается порошком графита. Отрицательно заряженные частицы порошка притягиваются к тем участкам селенового слоя, в которых сохранились положительные заряды, и не удерживаются в тех местах, которые потеряли заряд под действием рентгеновского излучения. Электрорентгенография позволяет в 2-3 минуты перенести изображение с пластины на бумагу. На одной пластине можно произвести более 1000 снимков. Преимущество электрорентгенографии: 1) быстрота; 2) экономичность. Недостаток: недостаточно высокая разрешающая способность при исследовании внутренних органов, более высокая доза излучения, чем при рентгенографии. Метод применяется, в основном, при исследовании костей и суставов в

травмопунктах. В последнее время применение этого метода все более ограничивается.

Компьютерная рентгеновская томография (КТ). Создание рентгеновской компьютерной томографии явилось важнейшим событием в лучевой диагностике. Свидетельством этого является присуждение Нобелевской премии в 1979 г. известным ученым Кормаку (США) и Хаунсфилду (Англия) за создание и клиническое испытание КТ.

КТ позволяет изучить положение, форму, размеры и структуру различных органов, а также их соотношение с другими органами и тканями (рис. 5.3).



Рис. 5.3.

Рентгеновская компьютерная томограмма головного мозга. Кровоизлияние в левую гемисферу и желудочки головного мозга.

Основой для разработки и создания КТ послужили различные модели математической реконструкции рентгеновского изображения объектов. Успехи, достигнутые с помощью КТ в диагностике различных заболеваний, послужили стимулом быстрого технического совершенствования аппаратов и значительного увеличения их моделей. Если первое поколение КТ имело один детектор, и время для сканирования составляло 5-10 мин, то на томограммах третьего – четвертого поколений при наличии от 512 до 1100 детекторов и ЭВМ большой емкости время для получения одного среза уменьшилось до миллисекунд, что практически позволяет исследовать все органы и ткани, включая сердце и сосуды. В настоящее время применяется спиральная КТ, позволяющая проводить продольную реконструкцию изображения, исследовать быстро протекающие процессы (сократительную функцию сердца).

КТ основана на принципе создания рентгеновского изображения органов и тканей с помощью ЭВМ. В основе КТ лежит регистрация рентгеновского излучения чувствительными дозиметрическими детекторами. Принцип метода заключается в том, что после прохождения лучей через тело пациента они попадают не на экран, а на детекторы, в которых возникают электрические импульсы, передающиеся после усиления в ЭВМ, где по специальному алгоритму они реконструируются и создают изображение объекта, который из ЭВМ подается на телемонитор. Изображение органов и тканей на КТ, в отличие от традиционных рентгеновских снимков, получается в виде поперечных срезов (аксиальных сканов). При спиральной КТ возможна трехмерная реконструкция изображения (3 Д режим) с высоким пространственным разрешением. Современные установки позволяют получить срезы толщиной от 2 до 8 мм. Рентгеновская трубка и приёмник излучения движутся вокруг тела больного. КТ обладает рядом преимуществ перед обычным рентгенологическим исследованием:

а) прежде всего высокой чувствительностью, что позволяет дифференцировать отдельные органы и ткани друг от друга по плотности в пределах до 0,5%; на обычных

рентгенограммах этот показатель составляет 10-20% .

б) КТ позволяет получить изображение органов и патологических очагов только в плоскости исследуемого среза, что дает четкое изображение без наложения лежащих выше и ниже образований;

в) КТ дает возможность получить точную количественную информацию о размерах и плотности отдельных органов, тканей и патологических образований;

г) КТ позволяет судить не только о состоянии изучаемого органа, но и о взаимоотношении патологического процесса с окружающими органами и тканями, например, инвазию опухоли в соседние органы, наличие других патологических изменений;

д) КТ позволяет получить топограммы, т.е. продольное изображение исследуемой области наподобие рентгеновского снимка, путем смещения больного вдоль неподвижной трубки. Топограммы используются для установления протяженности патологического очага и определения количества срезов;

е) КТ незаменима при планировании лучевой терапии (составление карт облучения и расчет доз).

Данные КТ могут быть использованы для диагностической пункции, которая может с успехом применяться не только для выявления патологических изменений, но и для оценки эффективности лечения и, в частности, противоопухолевой терапии, а также определение рецидивов и сопутствующих осложнений.

Диагностика с помощью КТ основана на прямых рентгенологических признаках, т.е. определении точной локализации, формы, размеров отдельных органов и патологического очага и, что особенно важно, на показателях плотности или абсорбции. Показатель абсорбции основан на степени поглощения или ослабления пучка рентгеновского излучения при прохождении через тело человека. Каждая ткань, в зависимости от плотности атомной массы, по-разному поглощает излучение, поэтому в настоящее время для каждой ткани и органа в норме разработан коэффициент абсорбции (КА) по шкале Хаунсфилда. Согласно этой шкале, КА воды принимают за 0, кости, обладающие наибольшей плотностью – за +1000, воздух, обладающий наименьшей плотностью, – за -1000.

Минимальная величина опухоли или другого патологического очага, определяемого с помощью КТ, колеблется от 0,5 до 1 см при условии, что КА пораженной ткани отличается от такового здоровой на 10 - 15 ед.

Как в КТ, так и при рентгенологических исследованиях возникает необходимость применения для увеличения разрешающей способности методики “усиления изображения”. Контрастирование при КТ производится с водорастворимыми рентгеноконтрастными средствами.

Методика “усиления” осуществляется перфузионным или инфузионным введением контрастного вещества.

Такие методы рентгенологического исследования называются *специальными*. Органы и ткани человеческого организма становятся различимыми, если они поглощают рентгеновские лучи в различной степени. В физиологических условиях такая дифференциация возможна только при наличии естественной контрастности, которая обуславливается разницей в плотности (химическом составе этих органов), величине, положении. Хорошо выявляется костная структура на фоне мягких тканей, сердца и крупных сосудов на фоне воздушной легочной ткани, однако камеры сердца в условиях естественной контрастности невозможно выделить отдельно, как и органы брюшной полости, например. Необходимость изучения рентгеновыми лучами органов и систем, имеющих одинаковую плотность, привело к созданию методики искусственного контрастирования. Сущность этой методики заключается во введении в исследуемый

орган искусственных контрастных веществ, т.е. веществ, имеющих плотность, различную от плотности органа и окружающей его среды.

Рентгеноконтрастные средства (РКС) принято подразделять на вещества с высоким атомным весом (рентгено-позитивные контрастные вещества) и низким (рентгено-негативные контрастные вещества). Контрастные вещества должны быть безвредными.

Контрастные вещества, которые интенсивно поглощают рентгеновские лучи (позитивные рентгеноконтрастные средства) это:

- взвеси солей тяжелых металлов – сернокислый барий, применяемый для исследования ЖКТ (он не всасывается и выводится через естественные пути);
- водные растворы органических соединений йода – урографин, верографин, билигнон, ангиографин и др., которые вводятся в сосудистое русло, с током крови попадают во все органы и дают кроме контрастирования сосудистого русла контрастирование других систем - мочевыделительной, желчного пузыря и т.д.;
- масляные растворы органических соединений йода – йодолипол и др., которые вводятся в свищи и лимфатические сосуды.

Неионные водорастворимые йодсодержащие рентгеноконтрастные средства: ультравист, омнипак, имагопак, визипак характеризуются отсутствием в химической структуре ионных групп, низкой осмолярностью, что значительно уменьшает возможность патофизиологических реакций, и тем самым обуславливается низкое количество побочных эффектов (рис. 5.4). Неионные йодсодержащие рентгеноконтрастные средства обуславливают более низкое количество побочных эффектов, чем ионные высокоосмолярные РКС.



Рис. 5.4.
Искусственное контрастирование
коронарных артерий: коронарография.

Рентгено-негативные или отрицательные контрастные вещества – воздух, газы “не поглощают” рентгеновские лучи и поэтому хорошо оттеняют исследуемые органы и ткани, которые обладают большой плотностью.

Искусственное контрастирование по способу введения контрастных препаратов подразделяется на:

1. Введение контрастных веществ в полость исследуемых органов (самая большая группа). Сюда относятся исследования ЖКТ, бронхография, исследования свищей, все виды ангиографии.
2. Введение контрастных веществ вокруг исследуемых органов – ретропневмоперитонеум, пневморен, пневмомедиастинография.
3. Введение контрастных веществ в полость и вокруг исследуемых органов. Сюда относится париетография. Париетография при заболеваниях органов ЖКТ заключается в получении снимков стенки исследуемого полого органа после введения газа вначале

вокруг органа, а затем в полость этого органа. Обычно проводят париетографию пищевода, желудка и толстой кишки.

4. Способ, в основе которого лежит специфическая способность некоторых органов концентрировать отдельные контрастные препараты и при этом оттенять его на фоне окружающих тканей. Сюда относятся выделительная урография, холецистография.

Побочное действие РКС

Реакции организма на введение РКС наблюдаются примерно в 10% случаев. По характеру и степени тяжести они делятся на 3 группы:

1. Осложнения, связанные с проявлением токсического действия на различные органы с функциональными и морфологическими поражениями их.

2. Нервно-сосудистая реакция сопровождается субъективными ощущениями (тошнота, ощущение жара, общая слабость). Объективные симптомы при этом – рвота, понижение артериального давления.

3. Индивидуальная непереносимость РКС с характерными симптомами:

а) со стороны центральной нервной системы – головные боли, головокружение, возбуждение, беспокойство, чувство страха, возникновение судорожных припадков, отек головного мозга;

б) кожные реакции – крапивница, экзема, зуд и др.;

в) симптомы, связанные с нарушением деятельности сердечно-сосудистой системы – бледность кожных покровов, неприятные ощущения в области сердца, падение артериального давления, пароксизмальная тахи- или брадикардия, коллапс;

г) симптомы, связанные с нарушением дыхания – тахипноэ, диспноэ, приступ бронхиальной астмы, отек гортани, отек легких.

Реакции непереносимости РКС иногда носят необратимый характер и приводят к летальному исходу.

Механизмы развития системных реакций во всех случаях имеют сходный характер и обусловлены активацией системы комплемента под воздействием РКС, влиянием РКС на свертывающую систему крови, высвобождения гистамина и других биологически активных веществ, истинной иммунной реакцией или сочетанием этих процессов.

В легких случаях побочных реакций достаточно прекратить инъекцию РКС и все явления, как правило, проходят без терапии.

При тяжелых осложнениях необходимо немедленно вызвать реанимационную бригаду, а до ее прибытия ввести 0,5 мл адреналина, внутривенно 30 – 60 мг преднизолона или гидрокортизона, 1 – 2 мл раствора антигистаминного препарата (димедрол, супрастин, пипольфен, кларитин, гисманал), внутривенно 10% хлористый кальций. При отеке гортани произвести интубацию трахеи, а при невозможности ее проведения – трахеостомию. При остановке сердца немедленно приступить к искусственному дыханию и непрямому массажу сердца, не дожидаясь прибытия реанимационной бригады.

Для профилактики побочного действия РКС накануне проведения рентгеноконтрастного исследования применяют премедикацию антигистаминными и глюкокортикоидными препаратами, а также проводят один из тестов для прогнозирования повышенной чувствительности больного к РКС. Наиболее оптимальными тестами являются: определение высвобождения гистамина из базофилов периферической крови при смешивании ее с РКС; содержания общего комплемента в сыворотке крови больных, назначенных для проведения рентгеноконтрастного обследования; отбор больных для премедикации путем определения уровней сывороточных иммуноглобулинов.

Среди более редких осложнений могут иметь место «водное» отравление при ирригоскопии у детей с мегаколон и газовая (либо жировая) эмболия сосудов.

Признаком «водного» отравления, когда быстро всасывается через стенки кишки в кровеносное русло большое количество воды и наступает дисбаланс электролитов и

белков плазмы, могут быть тахикардия, цианоз, рвота, нарушение дыхания с остановкой сердца; может наступить смерть. Первая помощь при этом – внутривенное введение цельной крови или плазмы. Профилактикой осложнения является проведение ирригоскопии у детей взвесью бария в изотоническом растворе соли, вместо водной взвеси.

Признаками эмболии сосудов являются: появление ощущения стеснения в груди, одышка, цианоз, урежение пульса и падение артериального давления, судороги, прекращение дыхания. При этом следует немедленно прекратить введение РКС, уложить больного в положение Тренделенбурга, приступить к искусственному дыханию и непрямому массажу сердца, ввести внутривенно 0,1% - 0,5 мл раствора адреналина и вызвать реанимационную бригаду для возможной интубации трахеи, осуществления аппаратного искусственного дыхания и проведения дальнейших лечебных мероприятий.

Частные методы рентгенологического исследования

Флюорография – способ массового поточного рентгенологического обследования, состоящий в фотографировании рентгеновского изображения с просвечивающего экрана на пленку фотоаппаратом.

Томография (обычная) – для устранения суммационного характера рентгеновского изображения. Принцип: в процессе съемки рентгенологическая трубка и кассета с пленкой синхронно перемещаются относительно больного. В результате на пленке получается более четкое изображение только тех деталей, которые лежат в объекте на заданной глубине, в то время как изображение деталей, расположенных выше или ниже, становится нерезким, «размазывается».

Полиграфия – это получение нескольких изображений исследуемого органа и его части на одной рентгенограмме. Делается несколько снимков (в основном 3) на одной пленке через определенное время.

Рентгенокимография – это способ объективной регистрации сократительной способности мышечной ткани функционирующих органов по изменению контура изображения. Снимок производится через движущуюся щелевидную свинцовую решетку. При этом колебательные движения органа фиксируются на пленку в виде зубцов, имеющих характерную форму для каждого органа.

Дигитальная рентгенография – включает в себя детекцию лучевой картины, обработку и запись изображения, представление изображения и просмотр, сохранение информации. При этой технологии детектор преобразует рентгеновское излучение после его прохождения через исследуемый объект в электрический сигнал, который в аналого-цифровом преобразователе «превращается» в числовые значения. Компьютерная обработка получаемого цифрового изображения служит созданию такого изображения, которое оптимально пригодно для анализа результата обследования.

Рентгенодиапевтика – лечебно-диагностические процедуры. Имеются в виду сочетанные рентгеноэндоскопические процедуры с лечебным вмешательством. Например: при механической желтухе с дренированием желчных путей и введением медикаментов непосредственно в желчный пузырь. К рентгенодиапевтике (интервенционной радиологии) относят рентгеноэндоваскулярные вмешательства: рентгеноэндоваскулярная окклюзия и рентгеноэндоваскулярная дилатация».

В конечном итоге, предметом изучения в рентгенологии является теневое изображение. Особенности теневого рентгеновского изображения являются:

1. Изображение, складывающееся из многих темных и светлых участков – соответственно областям неодинакового ослабления рентгеновых лучей в разных частях объекта.
2. Размеры рентгеновского изображения всегда увеличены (кроме КТ) по сравнению с изучаемым объектом, и тем больше, чем дальше объект находится от пленки

и чем меньше фокусное расстояние (отстояние пленки от фокуса рентгеновской трубки).

3. Когда объект и пленка не в параллельных плоскостях, изображение искажается.

4. Изображение суммационное (кроме томографии). Следовательно, рентгеновские снимки должны быть произведены не менее, чем в двух взаимно перпендикулярных проекциях.

5. Негативное изображение при рентгенографии и КТ.

Каждая ткань и патологические образования, выявляемые при лучевом исследовании, характеризуются строго определенными признаками, а именно: числом, положением, формой, размером, интенсивностью, структурой, характером контуров, наличием или отсутствием подвижности, динамикой во времени.

Радионуклидные методы исследования

Следующая группа методов, связанная с применением ионизирующих излучений – **радионуклидная диагностика (ядерная медицина)**: применение с диагностической целью меченых радиоактивными нуклидами веществ для исследования функционального и морфологического состояния организма.

Для радионуклидной диагностики используют радиофармацевтические препараты (РФП) и различные типы радиодиагностических приборов.

РФП называется химическое соединение, содержащее в своей молекуле определенный радиоактивный нуклид, которое разрешено для введения человеку с диагностической или лечебной целью.

В большинстве случаев в качестве индикаторов применяют физиологически активные или, как принято говорить, тропные к тем или иным органам (физиологическим системам) неорганические или органические соединения, белковые тела (в том числе, антигены, антитела, гормоны), в ряде случаев форменные элементы крови. В типичном варианте меченый индикатор вводится в кровеносное русло, и с этого момента начинается процесс собственно радионуклидного диагностического исследования.

Все этапы транспорта индикатора могут быть представлены в систематизированном виде:

- 1) введение в кровеносное русло порции раствора индикатора;
- 2) механический его транспорт по венозному руслу и к сердцу;
- 3) постепенное размешивание препарата в камерах сердца и в кровеносном русле, а в ряде случаев и связывание с белками плазмы;
- 4) проникновение физиологически активного соединения сквозь гематотканевые барьеры;
- 5) прохождение из межклеточного вещества в тропные для данного индикатора клетки;
- 6) концентрирование препарата, реакции его с нейтрализующими соединениями или белками-кондукторами и т.д., а в ряде случаев даже инкорпорирование в специализированных клетках или включение в синтезируемые в организме соединения (аминокислоты, белки и т.д.);
- 7) активный выход препарата из клеток в протоки экскретирующих систем или в межклеточное вещество, затем вновь в кровяное русло или в лимфатические капилляры;
- 8) выведение препарата из организма через выделительные системы.

Очевидно, что первый, второй, третий и восьмой этапы (первая группа) должны быть отнесены к этапам биомеханического транспорта препарата. Четвертый, пятый, шестой и седьмой этап (вторая группа) должны быть отнесены к этапам биохимического или метаболического характера. Разумеется, что последовательность эта условна.

Кроме того, при энтеральном, ингаляционном или интралюмбальном введении появляется некоторое дополнительное количество этапов транспорта. Наоборот,

количество этапов транспорта резко уменьшается, если в качестве индикатора используется физиологически инертное высокомолекулярное соединение или меченые элементы крови, длительное время не покидающие кровяное русло и циркулирующие в нем.

Радионуклидная диагностика строится на применении таких меченых соединений, поведение которых в организме отражает особенности состояния его органов и функциональных систем. При этом, благодаря высочайшей чувствительности радиодиагностических приборов, РФП вводится в индикаторных количествах, не влияя на физиологические и морфологические показатели, а только отражает их состояние.

Требованиями, предъявляемыми к РФП, являются:

- 1) малая токсичность;
- 2) испускание частиц, или фотонов, которые можно зарегистрировать;
- 3) диагностический смысл.

Для регистрации радиоактивного нуклида, находящегося в организме человека, необходимо, чтобы его излучение обладало достаточным уровнем энергии гамма-квантов, а большая его часть проникала с минимальным рассеиванием в тканях. В этом плане целесообразны излучатели с энергией гамма-квантов от 50 до 150 кэВ (наиболее часто применяется ^{99m}Tc , образующий γ -излучение с энергией 140 кэВ).

Каждый РФП подвергается экспериментальным и клиническим испытаниям, РФП утверждаются Министерством Здравоохранения. Осуществляется контроль РФП за их химической, радиохимической и радионуклидной частотой, а также за стерильностью и апиrogenностью.

Все радиодиагностические методики делятся на группы, характеризующиеся идентичным способом получения информации, ее первичной обработки и использованием одинаковой приборной техники. Эти методики исследования делятся на методики *in vivo* (в целом организме) и методики *in vitro* (в биологических пробах). При исследованиях *in vitro* РФП в организм не вводятся. Выполнение любого радиодиагностического исследования осуществляется с помощью радиоэлектронных приборов, специально предназначенных для этих целей. Весь комплекс радиодиагностических приборов целесообразно классифицировать по медико-функциональному назначению.

В первую группу входят приборы (*радиометры*) при помощи которых производится радиометрия – определение накопления γ - и β -излучающих препаратов в органе, установки для определения содержания радиоактивного вещества в биологических пробах и счетчики излучения всего тела человека (СИЧ), позволяющие измерять общую радиоактивность в организме человека.

Вторую группу составляют приборы, называемые хронографами, или *радиографами*, используемые для исследования временных характеристик накопления радиоактивного препарата в органе организма человека.

Третья группа приборов предназначена для исследования пространственных характеристик распределения РФП в организме пациента и представлена следующими разновидностями: приборами с подвижным детектором, обеспечивающими получение гамма-топографической картины распределения радиоактивных индикаторов в исследуемом органе методом механического перемещения детектора (*сканирования*); установками с неподвижным детектором – *гамма-камерами* (*сцинтиграфия*). Гамма-камера представляет собой основной радиодиагностический прибор, позволяющий визуализировать распределение индикатора в органе организма человека. Выделяют статическую сцинтиграфию, когда исследуется распределение и накопление РФП в исследуемом объекте и динамическую сцинтиграфию, при которой исследуется распределение РФП и временные характеристики накопления и выведения РФП в исследуемом объекте (рис. 7).

Четвертая группа приборов: *гамма-томографы*. В отличие от обычных гамма-камер детектор вращается вокруг тела пациента, что позволяет изучать накопление индикатора в поперечной, сагитальной, фронтальной плоскостях и получить трехмерную картину содержания индикатора в исследуемом объекте (*однофотонная эмиссионная компьютерная томография*).

Пятая группа приборов связана с *позитронной эмиссионной компьютерной томографией (ПЭТ)*: в этих приборах гамма-кванты регистрируются при помощи коллимированно расположенных детекторов гамма-камеры. Особенностью ПЭТ является использование метаболически активных субстанций (чаще всего глюкозы), которые метятся позитронными радионуклидами (обычно ^{18}F), результатом чего является РФП – флюородезоксиглюкоза (18-ФДГ). Вследствие гиперметаболизма, характерного для злокачественных опухолей, 18-ФДГ очень активно включается в опухолевые клетки. Регистрация распределения 18-ФДГ ведется по фотонному излучению, возникающему вследствие аннигиляции позитронов. В результате получают более точные данные о распространенности опухолевого процесса, чем при использовании других методов лучевой диагностики. ПЭТ имеет колоссальные потенциальные возможности по изучению метаболических процессов различных заболеваний.



Рис. 5.5.
Статическая сцинтиграфия скелета с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ –
технефором. Метастаз рака в 12 ребро
слева.

С точки зрения клинической значимости, радионуклидные исследования можно разделить на 4 группы:

- 1) полностью обеспечивающие установление диагноза заболевания;
- 2) определяющие нарушения функции исследуемого органа или системы, на основании которых разрабатывается план дальнейшего обследования;
- 3) устанавливающие особенности анатомо-топографических положений внутренних органов;
- 4) дающие возможность получить дополнительно прогностическую информацию в комплексе клинико-инструментального обследования с целью более полного диагностического заключения.

К первой группе относят комплекс радионуклидных исследований йодного обмена, позволяющий в большинстве случаев установить диагноз заболеваний щитовидной железы; сцинтиграфическое исследование скелета с пирофосфатом для распознавания МТС злокачественных опухолей; переломов костей, обусловленных суммацией микротравм.

Ко второй группе относят исследования функций почек и гепатобилиарной системы, результаты которых определяют необходимость и показания к выполнению

других исследований. Таким образом, радионуклидные исследования мочевой и гепатобилиарной систем являются начальными у больных с заболеваниями этих органов.

К третьей группе относят сцинтиграфию ряда органов (почек, печени, щитовидной железы, селезенки и др.), поскольку она является надежным способом определения их анатомо-топографического состояния.

К четвертой группе относят исследования легких, сердечно-сосудистой системы, лимфатической системы, головного мозга. В этих случаях удается не только подтвердить наличие патологического процесса, но и установить его биологическую активность, а также степень и распространенность поражения.

Принципиальной основой методик *радионуклидных исследований in vitro* является конкурентное связывание искомых (немеченых и идентичных искусственно меченых) веществ или соединений со специфически связывающими системами. При этом РФП в организм человека не вводятся, используются биосубстраты (кровь, моча).

Специфическая связывающая система (именуемая “биндер”, т.е. связывающий) вступает в равноправное взаимодействие как с исследуемым веществом (именуемым “лигандом”, т.е. связываемым), так и с его аналогом, меченым радиоактивным нуклидом, связываясь с ними в количествах, пропорциональных их исходным концентрациям. Таким образом, чем больше содержание исследуемого вещества в данной пробе, тем меньшая часть его меченого аналога свяжется со специфической связывающей системой, и тем большая часть остается несвязанной. Чаще всего комплекс лиганд + биндер выпадает в осадок, а не связанная часть меченого аналога остается в надосадочной жидкости.

При этом количество искомого вещества в различных пробах варьирует, а количество меченого аналога и специфической связывающей системы постоянно. Кроме того, обычно меченого лиганда больше, чем биндера.

Отделив комплекс меченый лиганд+биндер от несвязавшегося лиганда, можно измерить связавшуюся величину активности, которая обратно пропорциональна содержанию искомого вещества. Одновременно в тех же условиях проводится серия анализов известных концентраций искомого вещества (так называемые стандартные разведения), которые позволяют построить калибровочную кривую, отражающую изменения связанной активности в зависимости от концентрации немеченого лиганда (искомого вещества).

В настоящее время методики РИА разработаны для более чем 400 соединений различной химической природы и применяется в следующих областях медицины:

- 1) в эндокринологии для диагностики сахарного диабета, патологии гипофизарно-надпочечниковой и тиреоидной систем, выявления механизмов других эндокринно-обменных нарушений;
- 2) в онкологии для ранней диагностики злокачественных опухолей и контроля за эффективностью лечения путем определения концентрации альфа-фетопротеина, раково-эмбрионального антигена, а также более специфических туморальных маркеров;
- 3) в кардиологии для диагностики инфаркта миокарда путем определения концентрации миоглобина, контроля лечения препаратами дигоксин, дигитоксин;
- 4) в педиатрии для определения причин нарушения развития у детей и подростков (определение соматотропного гормона, тиреотропного гормона гипофиза);
- 5) в акушерстве и гинекологии для контроля за развитием плода путем определения концентрации эстрола, прогестерона, в диагностике гинекологических заболеваний и выявления причин бесплодия женщин (определение лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов);
- 6) в аллергологии для определения концентрации иммуноглобулинов Е и специфических антигенов;
- 7) в токсикологии для измерения концентрации в крови лекарственных веществ и

токсинов.

Широкое применение радионуклидных методов диагностики в различных областях клинической медицины, ее высокая информативность сделали радиоизотопные исследования необходимым звеном.

Ультразвуковые методы исследования

Ультразвуковая диагностика. В современных условиях все большее значение приобретает ультразвуковая диагностика. В данном случае не используется ионизирующее облучение и устраняется возможность возникновения биологических эффектов, присущих ионизирующему излучению.

Получение ультразвуковых изображений внутренних органов (структур) биологических объектов основана на применении звукового поля, формируемого в средах, обладающих упругостью (жидкость, твердое тело). Для исследования биологических объектов используются продольные акустические волны ультразвукового диапазона частот (1-15 МГц), при распространении которых направления колебаний частиц среды и движение волны совпадают. Продольные ультразвуковые волны в средах распространения характеризуются вектором скорости, коэффициентом затухания и коэффициентом отражения волн от границ сред, обладающих различным акустическим сопротивлением – импедансом. Все эти характеристики в зависимости от способа их регистрации могут быть использованы для формирования теневых, эхолокационных и других видов ультразвуковых изображений. Основой диагностического применения ультразвука служит феномен отражения ультразвуковой энергии на границе сред (тканей) с различным акустическим сопротивлением.

Распространение и отражение ультразвука – два основных принципа, на которых основано действие всей диагностической ультразвуковой аппаратуры.

Основой генерирования и регистрации ультразвуковых колебаний является прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Для получения ультразвуковых колебаний используют обратный пьезоэлектрический эффект, сущность которого заключается в том, что при создании электрических зарядов на поверхности граней кристалла последний начинает сжиматься и растягиваться. Возникают колебания, частота которых зависит от частоты смены знака потенциала на гранях кристалла. Большим преимуществом пьезоэлектрических преобразователей является то, что источник ультразвука может служить одновременно и его приемником. При этом в действие вступает прямой пьезоэлектрический эффект, когда при деформации пьезокристалла воспринимаемым ультразвуковым сигналом на его гранях образуются разноименные электрические потенциалы, которые могут быть зарегистрированы. Для получения ультразвуковых колебаний чаще всего используется кристалл титаната циркония.

Частота ультразвукового сигнала при отражении его от движущегося объекта изменяется пропорционально скорости движения лоцируемого объекта вдоль оси распространения сигнала – это явление называется эффектом Доплера. При движении объекта в сторону датчика, генерирующего ультразвуковые импульсы, частота отраженного сигнала увеличивается, и, наоборот, при отражении сигнала от удаляющегося объекта частота отраженного сигнала уменьшается. Измеряя частоту отраженного сигнала и зная частоту посланного сигнала, можно по сдвигу частоты (Δf) определить скорость движения исследуемого объекта в направлении, параллельном ходу ультразвукового луча. При движении объекта под углом по отношению к лучу для определения скорости вносится соответствующая поправка на величину угла.

Ультразвуковые изображения несут информацию о незначительных изменениях параметров сред (порядка 1-2%) и позволяют визуализировать структурно-топографические взаимоотношения внутренних органов и мягких тканей. Сильное

отражение ультразвуковых колебаний (почти 100%) от границ раздела мягкая ткань – воздух или мягкая ткань – кость ограничивает применение ультразвуковых исследований (УЗИ) для исследования легких, желудочно-кишечного тракта, головного мозга. Амплитуда эхосигналов несет информацию о процессах поглощения рассеяния и обратного отражения ультразвуковых зондирующих импульсов в исследуемой среде. Путем измерения этих величин, являющихся параметрами эхоизображения, могут быть определены: 1) глубина залегания неоднородности; 2) направление на неё; 3) линейные размеры и расстояния между несколькими неоднородностями; 4) при соответствующем конструктивном обеспечении возможны измерения, связанные с перемещением отдельных структур объектов относительно направления ультразвукового зондирования.

Простейшим видом отображения информации в ультразвуковой эхоскопии является продольная А-эхограмма, получаемая зондированием среды при неизменном направлении ультразвукового луча. В этом случае эхосигналы представляются в одномерном виде, как амплитудные отметки на оси времени. При неизменном направлении ультразвукового луча может быть получен еще один тип эхоизображения – М-эхограмма, характеризующая перемещение лоцируемых структур во времени. Такой тип эхограммы может быть сформирован при многократном ультразвуковом зондировании подвижной среды. Данный тип эхоизображения позволяет фиксировать изменения во времени глубины залегания биологических структур, находящихся на трассе распространения ультразвука вдоль луча при их движении и получил широкое распространение при движении структур сердца.

Ценность метода резко повышается при применении двухмерного ультразвукового В-сканирования. Такие эхограммы называются еще эхотомограммами и характеризуются двумерным распределением амплитуды эхосигналов. Принцип ультразвукового сканирования заключается в перемещении датчика в направлении, перпендикулярном линии распространения ультразвукового луча. Отраженные импульсы регистрируются на экране в виде светящихся точек. Поскольку датчик находится в постоянном движении, а экран имеет длительное послесвечение, отраженные импульсы сливаются, формируя изображение сечения обследуемого органа.

Получить дополнительную информацию о деталях обследуемой структуры позволяет сложное ультразвуковое сканирование, что достигается приданием датчику двух родов движения: основного и дополнительного. Например, линейное движение датчика может сопровождаться покачиванием его на определенный угол вокруг своей оси (секторальное сканирование).

Допплеровские режимы позволяют регистрировать основные параметры кровотока (скорость, направление и ламинарность). Регистрация результатов доплерографии представляет собой развертку скорости потока крови во времени. Кровоток, направленный от датчика, регистрируется ниже изолинии, а направленный в сторону датчика – выше нее.

Ультразвуковые контрастные средства. Ультразвуковые контрастные средства могут быть представлены как эхогенные субстанции, которые вводятся в сосуд или орган для того, чтобы повысить его эхогенность, т.е. способность отражать ультразвуковую энергию. Такие средства могут вводиться внутривенно. Ультразвуковые средства должны обладать низкой токсичностью и способностью к быстрому выделению. Наиболее известные ультразвуковые контрастные средства:

- 1) микропузырьки газа в оболочке из альбумина («Альбунекс»);
- 2) микропузырьки газа, внедренные в галактозу («Эховист») или заключенные в галактозу и жирные кислоты («Левовист»);
- 3) фторуглеродные соединения, при температуре тела человека из жидкой формы переходят в газообразную, образуя микропузырьки газа («Эхоген»).

В то время как «Эховист» захватывается легкими и используется только для исследования сердца и магистральных вен, некоторые другие ультразвуковые контрастные средства проходят через капилляры легких и другие капилляры и могут поэтому применяться для визуализации большего числа органов.

Полезность ультразвуковых контрастных средств состоит в том, что они могут улучшать контрастное разрешение между нормальной и пораженной тканью, помогают выявлять опухоли и сосуды в них. Прочие возможные преимущества состоят в улучшении визуализации стенозов сосудов, например, увеличении способности выявлять зоны инфаркта и ишемии.

При интерпретации сонограмм важным показателем является эхогенность. Плотные структуры (конкременты) полностью отражают ультразвуковые волны, поэтому они эхопозитивны (гиперэхогенны). Жидкость однородна и свободно пропускает ультразвуковые волны, поэтому она эхонегативна (рис. 5.6).

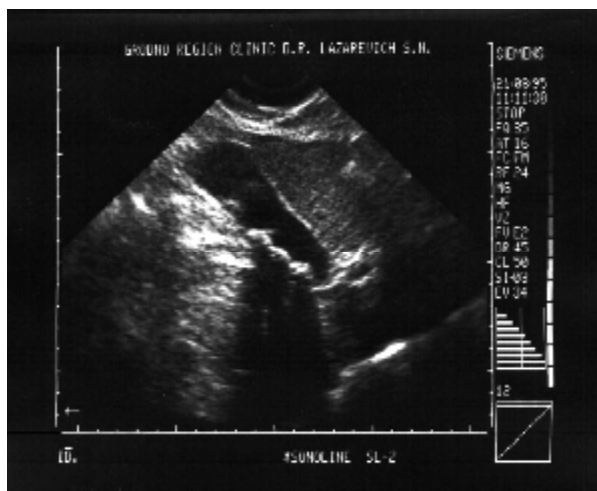


Рис. 5.6

Эхограмма двумерная печени и желчного пузыря. На фоне анэхогенной желчи виден гиперэхогенный камень в желчном пузыре.

Тестовым органом, имеющим среднюю эхогенность, является нормальная печень.

Ультразвуковые методы позволили более точно решать вопросы диагностики значительного числа заболеваний сердечно-сосудистой, пищеварительной, мочеполовой систем. С помощью этих методов получают ценные сведения в акушерстве и гинекологии, онкологии, неврологии и нейрохирургии, офтальмологии.

Вредность. Огромное достоинство УЗИ – отсутствие повреждений тканей при используемых в диагностике мощностях УЗ-энергии и тем самым отсутствие противопоказаний к его применению. Это особенно важно в детском возрасте и у беременных женщин. Однако не следует считать УЗИ абсолютно безопасным. УЗ-воздействие не вызывает ионизации в тканях, но может при определенных условиях повреждать их. К тепловому действию ультразвука наиболее чувствительны быстро делящиеся клетки. Поэтому вводятся ограничения для доплерографических исследований плода в I и III триместрах беременности (при этой технике УЗИ больше энергетическое воздействие на ткани). Рекомендуется воздерживаться также от УЗИ плода без медицинских показаний.

Магнитно-резонансные методы исследования

Магнитно-резонансная томография. Важнейшее значение в современной лучевой диагностике приобрела магнитно-резонансная томография (МРТ). МРТ дает ценную диагностическую информацию о физических и химических параметрах, позволяющих судить о природе и морфологическом строении исследуемых органов и

тканей. К тому же изображение можно получать в любой плоскости. Основными компонентами МР-томографа являются силовой магнит, радиопередатчик, приемная радиочастотная катушка и компьютер. Большинство магнитов имеют магнитное поле, параллельное длинной оси тела человека. Сила магнитного поля измеряется в теслах (Тл). Для клинической МРТ используются поля силой 0,02 -3 Тл.

Когда пациента помещают в сильное магнитное поле, все маленькие протонные магниты тела (ядра водорода) разворачиваются в направлении внешнего поля (подобно компасной стрелке, ориентирующейся на магнитное поле Земли). Помимо этого, магнитные оси каждого протона начинают вращаться (прецессировать) вокруг направления внешнего магнитного поля. При пропускании через тело пациента радиоволн, имеющих равную частоту с частотой вращения протонов (Ларморовская частота) магнитное поле радиоволн заставляет магнитные моменты всех протонов вращаться по часовой стрелке. Это явление называют магнитным резонансом.

Под резонансом понимают синхронные колебания, и для изменения ориентации магнитных протонов магнитные поля протонов и радиоволн должны резонировать, т.е. иметь одинаковую частоту.

В тканях пациента создается суммарный магнитный момент: ткани намагничиваются, и их магнетизм ориентируется точно параллельно внешнему магнитному полю. Магнетизм пропорционален числу протонов в единице объема ткани. Огромное число протонов (ядер водорода), содержащихся в большинстве тканей, обуславливает тот факт, что магнитный момент достаточно велик для того, чтобы индуцировать электрический ток в расположенной вне пациента принимающей катушке. Этот индуцированный электрический ток «МР-сигнал» используется для реконструкции изображения.

В промежутке между передачей импульсов протоны подвергаются двум различным процессам релаксации T1 и T2. Релаксация – это последствие постепенного исчезновения намагниченности, вызванного небольшими различиями в силе местных магнитных полей. T2 релаксация – потеря магнетизма. T1 релаксация – время восстановления магнетизма. Чем короче T1, тем быстрее восстанавливается магнетизм.

Таблица 5.1

Зависимость МР-сигнала от исследуемой ткани

Объект исследования	Пример	Интенсивность	
		T1-взвешенный сигнал	T2-взвешенный сигнал
Газ	Газ в легких, придаточных пазухах носа, желудке и кишечнике	Отсутствует	Отсутствует
Ткани, содержащие минералы в большом количестве	Компактное вещество кости, участки обызвествления	Отсутствует	Отсутствует
Слабо минерализированные ткани	Губчатое вещество кости	Средний или близкий к высокому	Низкий
Коллагеновые ткани	Связки, сухожилия, хрящи, соединительная ткань	Низкий	Низкий
Жир	Жировая ткань	Высокой интенсивности	Высокой интенсивности
Паренхиматозные органы, содержащие	Печень, поджелудочная железа, надпочечники,	Низкий	Низкий или близкий к

связанную воду	мышцы, гиалиновые хрящи		среднему
Паренхиматозные органы, содержащие свободную жидкость	Щитовидная железа, селезенка, почки, предстательная железа, яичники, половой член	Низкий	Высокий
Полые органы, содержащие жидкость	Желчный пузырь, мочевой пузырь, простые кисты	Низкий	Высокий
Ткани с низким содержанием белка	Спинномозговая жидкость, моча, отеки	Низкий	Высокий
Ткани с высоким содержанием белка	Синовиальная жидкость, пульпозное ядро межпозвоночного диска, сложные кисты, абсцессы	Средний	Высокий
Кровь	Кровь в сосудах	Отсутствует	Отсутствует

Очень высокая информативность МРТ обусловлена рядом ее достоинств.

1. Особенно высокий тканевой контраст, основанный не на плотности, а на нескольких параметрах, зависящих от ряда физико-химических свойств тканей, и визуализация благодаря этому изменений, которые не дифференцируются при УЗИ и КТ.

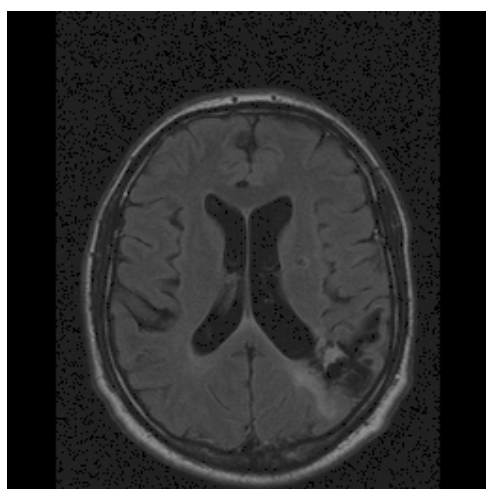
2. Возможность управлять контрастом, ставя его в зависимость то от одного, то от другого параметра. Варьируя контраст, можно выделить одни ткани и детали и подавить изображение других. За счет этого МРТ, например, впервые позволила визуализировать без контрастирования все мягкотканые элементы суставов.

3. Отсутствие артефактов от костей, нередко перекрывающих мягкотканые контрасты при КТ, что позволяет без помех визуализировать поражение спинного и базальных отделов головного мозга.

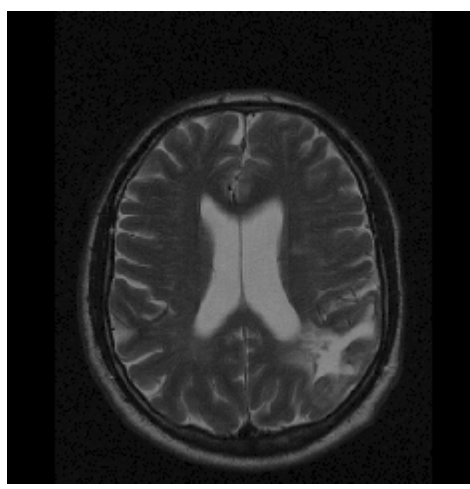
4. Мультипланарность – возможность изображений в любой плоскости.

5. МРТ имеет и функциональные применения, например изображение регургитации при клапанных пороках сердца в режиме кино или динамики движений в суставах.

6. МРТ отображает кровоток без искусственного контрастирования. Специальные ангиопрограммы с двумерным или трехмерным сбором данных позволяют получить изображение кровотока с отличным контрастом (рис. 5.7).



T1



T2

Рис. 5.7.
МРТ головного мозга. В режиме T_1 виден низкоинтенсивный сигнал (черного цвета) в левой гемисфере. В режиме T_2 – высокоинтенсивный сигнал. Кистозное образование после ишемического инсульта.

Контрастные средства для МРТ. Контрастное разрешение на МР-изображение может быть существенно улучшено различными контрастными средствами. В зависимости от магнитных свойств МР-контрастные средства подразделяются на парамагнитные и суперпарамагнитные.

Парамагнитные контрастные средства. Парамагнитными свойствами обладают атомы с одним или несколькими неспаренными электронами. Это магнитные ионы гадолиния, хрома, никеля, железа, а так же марганца. Наиболее широкое клиническое применение получили соединения гадолиния.

Контрастирующий эффект гадолиния обусловлен укорочением времени релаксации T1 и T2. В низких дозах преобладает воздействие на T1, увеличивающее интенсивность сигнала. В высоких дозах преобладает воздействие на T2 со снижением интенсивности сигнала. Наиболее широкое распространение имеют парамагнитные внеклеточные МР-контрастные средства:

1. Магневист (гадопентат димеглюмина).
2. Дотарем (гадотерат меглюмина).
3. Омнискан (гадодиамид).
4. Проханс (гадотеридол).

Суперпарамагнитные контрастные средства. Суперпарамагнитный оксид железа – магнетит. Его доминирующим воздействием является укорочение релаксации T2. С увеличением дозы происходит снижение интенсивности сигнала.

Так же как в компьютерной томографии, пероральные контрастные средства используются при исследованиях органов брюшной полости, чтобы дифференцировать кишечник и нормальные или патологические ткани.

Магнетит (Fe_3O_4) – применяется при исследованиях желудочно-кишечного тракта. Это суперпарамагнитное вещество с преимущественным действием на T2 релаксацию. Действует как негативное контрастное средство, т.е. снижает интенсивность сигнала.

Недостатки МРТ:

1. Плохо отображаются обызвествления
2. Длительное время изображения вместе с артефактами от дыхательных и других движений ограничивает применение МРТ в диагностике заболеваний грудной и брюшной полостей.

Вредность. При МРТ нет ионизирующего излучения и радиационной вредности. Для подавляющего большинства пациентов метод не представляет опасности.

МРТ противопоказана:

- пациентам с установленным водителем ритма или с внутриглазничными, внутричерепными и внутрипозвоночными ферромагнитными инородными телами и с сосудистыми клипсами из ферромагнитных материалов (абсолютное противопоказание);
- реанимационным больным из-за воздействия магнитных полей МР-томографа на системы жизнеобеспечения;
- пациентам с клаустрофобией (составляют примерно 1%); хотя она нередко уступает седативным средствам (реланиум);
- женщинам в первой трети беременности.

Термография

Тепловые изображения. Анализ тепловых полей тела человека как новый диагностический метод начал применяться в медицинской практике с конца 50-х годов и с тех пор нашел широкое применение во многих клиниках мира. Впрочем, еще врачи древней Греции определяли локализацию глубокого расположения опухоли по местам наиболее быстрого высыхания ила, тонким слоем которого смазывали больного.

Способы регистрации инфракрасного излучения кожи человека можно разделить

на две группы – контактные и дистанционные.

Контактная жидкокристаллическая термография проводится с помощью жидких кристаллов. В основе метода лежит способность холестерических кристаллов изменять цвет в зависимости от интенсивности и волнового диапазона инфракрасного излучения поверхности, на которую они нанесены. Контактные термограммы получают путем прикладывания к поверхности тела в исследуемой области пленки или паст с жидкокристаллическим соединением.

Пленка из холестерических кристаллов под воздействием инфракрасного излучения кожи окрашивается в разные цвета, причем, участки с различной температурой соответствуют различным цветовым тонам. Полученную цветовую картину исследуют визуально и фотографируют на цветную пленку.

Более часто используется бесконтактная (дистанционная) термография.

Бесконтактное исследование может быть выполнено как термоскопия (визуализация теплового поля тела или его части на экране тепловизора), термометрия (измерение температуры поверхности тела с помощью градуированной или цветовой шкалы и эталонного излучателя), термография (регистрация теплового поля на фотопленке или электрохимической бумаге в виде монохроматической или цветной термограммы).

Для бесконтактной регистрации тепловых (температурных) полей кожных покровов человека используются оптико-электронные приборы – медицинские тепловизоры.

Наличие патологического процесса проявляется одним из трех качественных термографических признаков: появлением аномальных зон гипертермии или гипотермии, нарушением нормальной термотопографии сосудистого рисунка, а также изменением такого количественного признака, как градиент температуры в исследуемой зоне.

Воспалительные процессы, как правило, обуславливают изменения величин градиента температур между зоной поражения и окружающими тканями: при хроническом воспалительном процессе до $0,7-1^{\circ}$; при остром – до $1-1,5^{\circ}$, при остром гнойно-деструктивном – $1,5-2^{\circ}$.

При воспалительных процессах, помимо изменения градиентов температур, на термограммах регистрируется зона гипертермии, по форме, размерам и расположению соответствующая области наиболее выраженных патологических изменений.

При злокачественных опухолях и их метастазах в кости и мягкие ткани зона гипертермии на термограммах имеет интенсивное свечение, округлой или неправильной формы, резкие контуры, однородную структуру. Градиент температур зоны гипертермии и симметричной области превышает $2-2,25^{\circ}$.

При снижении кровотока, связанного с ангиоспазмом или органическим поражением артериальных сосудов появляется зона гипотермии, по форме, размерам и топографии соответствующая области резкого снижения кровотока.

Радиотермометрия – измерение температуры внутренних органов и тканей по собственному их излучению. Давно известно, что человек является источником радиоизлучения. Впервые регистрацию этого излучения для медицинской диагностики применили А.Баррет и П.Майерс в 1975 году.

При радиотермометрии производят измерение температуры тканей на разной глубине с помощью микроволнового радиометра. Если известна температура кожи в данной области, то можно вычислить температуру на любой глубине. Этого также можно добиться, регистрируя температуру на двух разных длинах волн. Ценность метода подкрепляется тем, что температура глубоко расположенных тканей, с одной стороны, постоянно, а с другой – почти моментально меняется под влиянием некоторых лекарственных средств, в частности, сосудорасширяющих препаратов. Это дает

возможность проводить функциональные исследования, например, при решении вопроса об уровне ампутации при окклюзии сосудов конечностей.

В конструкции тепловизоров используются два метода получения тепловых изображений. Приборы, создающие видимое изображение тепловой картины объекта без сканирования, и сканирующие радиометры. В устройствах без сканирования преобразование теплового излучения в видимое осуществляется одновременно по всему полю зрения, тогда как при использовании сканирования преобразование осуществляется последовательно от точки к точке.

Итак, инфракрасная термография – способ бесконтактной дистанционной регистрации изображения кожных покровов человека по его собственному спонтанному инфракрасному излучению, обусловленному процессами термогенеза и теплоотдачи тканей в диапазоне электромагнитных волн от 0,76 мкм до 0,1 мм.

Наиболее широко в тепловизорах используется одноэлементный приемник из антимолибдита, который охлаждается жидким азотом. Под действием падающего на приемник потока излучения изменяется его электропроводность (электрическое сопротивление), которое измеряется.

Термографическое исследование, как абсолютно безвредное, используют только на первом этапе диагностического алгоритма, а также для контроля эффективности лечения тех или иных заболеваний.

Проведение осмотров населения в кабинетах термодиагностики должно быть ориентировано на выявление, в первую очередь, следующих групп заболеваний:

1. Злокачественные новообразования: кожи и молочной железы, губы, полости рта и глотки, носа, уха, околоносовых пазух, гортани, мочеполовых органов.
2. Болезни системы кровообращения: флебит и тромбофлебит, облитерирующий атеросклероз.
3. Болезни органов пищеварения: язвенная болезнь желудка и 12 -перстной кишки, гастрит, панкреатит, холецистит.

Например, термография выявляет практически все случаи рецидивов и МТС в лимфатические узлы; МТС в позвоночный столб, ребра, кости таза выявляются в 80% наблюдений обычно за 1-1,5 месяца до их рентгенологического выявления.

Вредность при термографии отсутствует.

Глава VI. Методы лучевой терапии

Лучевая терапия – клиническая дисциплина, использующая в качестве лечебного фактора ионизирующее излучение.

Лучевая терапия в настоящее время наряду с хирургическим вмешательством и химиотерапевтическими препаратами является одним из основных методов лечения больных злокачественными опухолями. До 2/3 общего числа онкологических больных подвергаются лучевому лечению.

В основе лечебного применения ионизирующих излучений лежит их биологическое действие. В злокачественной опухоли сочетаются в разных соотношениях клеточные популяции и неклеточные компоненты соединительной ткани. Опухоль реагирует на излучение в соответствии с общими радиобиологическими закономерностями, которые рассматривались выше. Под влиянием облучения в опухолевой ткани в определенной последовательности происходят следующие изменения:

- уменьшение в размерах в связи с гибелью наиболее радиочувствительных элементов;
- развитие грануляционной ткани и инкапсуляция групп злокачественных клеток;
- понижение васкуляризации опухоли;

– гибель всех опухолевых элементов и замещение их рубцовой тканью.

Принципы лучевой терапии злокачественных опухолей:

1. Максимальное лучевое воздействие на опухолевую ткань, минимальное – на здоровую ткань

2. Эффективность лучевого лечения в решающей степени зависит от стадии заболевания, поэтому облучение следует начинать как можно раньше.

3. Для достижения благоприятного конечного результата важно добиваться максимальной радикальности первого курса лучевого лечения, что достигается обязательным облучением всей опухоли в необходимой дозе и в оптимальные сроки.

4. Под необходимой дозой понимают такую, которая достаточна для получения запланированного эффекта при учете величины опухоли, характера ее роста (преобладание экспансивного или инфильтративного роста) радиочувствительности опухолевой ткани и некоторых других факторов. Необходимая суммарная очаговая доза при лечении по радикальной программе 60-80 Гр должна быть получена всем опухолевым узлом, тогда как на пути лимфооттока и на зоны регионарного метастазирования достаточной является доза, составляющая около 80% очаговой (при отсутствии в них метастазов).

5. Под оптимальными сроками облучения понимают такую общую продолжительность лечения и распределения дозы во времени (т.е. способы фракционирования), при которых достигается существенное подавление опухолевого роста при сохранении достаточной степени регенераторных способностей окружающих опухоль здоровых тканей. Таким образом, облучение в оптимальные сроки является одним из важных условий поддержания максимальной величины радиотерапевтического интервала (различие в радиопоражаемости опухоли и окружающих здоровых тканей), что, в свою очередь, в значительной степени определяет результаты лечения.

6. Сохранению и увеличению радиотерапевтического интервала способствуют, помимо распределения дозы во времени, воздействие на радиочувствительность опухолевой тканей путем применения радиопротекторов и радиосенсибилизаторов, а также использование таких видов излучений и таких методик облучения, которые обеспечивают наилучшее распределение дозы.

7. Эффективность лучевого лечения в значительной степени зависит от своевременности применения патогенетически обоснованного сопутствующего лечения, направленного на дезинтоксикацию и нормализацию функций организма облученного пациента, снятие воспалительного процесса в зоне облучения и предупреждение возникновения лучевых реакций и повреждений. Сопутствующее лечение включает психологическую подготовку, режим питания с использованием радиопротекторных свойств пищи, витаминотерапию, гемотрансфузию, лекарственное лечение, лечебную физкультуру, уход за кожей.

Радиочувствительность опухолевой клетки определяется большим числом факторов. Среди них преобладают: количество гипоксических и непролиферирующих покоящихся клеток.

При падении pO_2 ниже 20 мм. рт. ст. клетки более устойчивы к действию радиации, чем при более высоком парциальном давлении кислорода. Причина хронической гипоксии вызвана удалением от капилляра клеток из-за неконтролируемого деления тех из них, которые расположены ближе к этому источнику кислорода и питательных веществ. Кислород является самым сильным из известных модификаторов лучевого поражения. Концентрация кислорода и глюкозы в крови в нормальных условиях достаточна для обеспечения жизнедеятельности клеток, располагающихся на расстоянии до 100-150 мкм от ближайшего капилляра, что составляет 10-15 клеточных слоев. До клеток, оттесняемых на большее расстояние, эти метаболиты не доходят, что и приводит к возникновению

гипоксии и некрозов. Радиочувствительность нормоксических и аноксических клеток различается в 2,5-3,5 раза. Закономерной связи между величиной гипоксической фракции и гистологическим строением опухоли, размером или скоростью роста новообразования установить не удалось. Гипоксические клетки обнаружены и в довольно маленьких опухолях. Даже разные части одной и той же опухоли неодинаково реагируют на облучение. В опухоли можно выделить три зоны радиочувствительности: наиболее чувствительную зону активной пролиферации вблизи сосудистых пространств, менее чувствительную зону с небольшой активностью пролиферации и радиорезистентную зону спонтанного некроза. К тому же имеет место и различная радиочувствительность клеток, находящихся в различных фазах клеточного цикла.

Разницу в радиочувствительности злокачественной опухоли и окружающих ее тканей определяют как радиотерапевтический интервал. Но здоровые ткани человеческого организма и опухолевая ткань мало различаются по радиочувствительности.

Главная задача лучевой терапии состоит в том, чтобы подвести к опухоли оптимальную дозу. Оптимумом принято считать уровень, при котором достигается наивысший процент излечения при приемлемом проценте лучевых повреждений нормальных тканей. На практике оптимум – это величина суммарной дозы, при которой излечивается более 90% больных с опухолями данной локализации и гистологической структуры, и повреждения нормальных тканей возникают не более чем у 5% больных.

Для излечения первичного очага по мере увеличения его размеров требуется все большая доза ионизирующего излучения. При этом увеличение диаметра опухоли на каждый сантиметр делает необходимым дополнительное облучение в дозе 3-5 Гр. Реальный расчет на радикальное излечение больных без риска получения тяжелых лучевых повреждений может быть только в пределах случаев раннего клинического распознавания рака. Если условно исключить поверхностно расположенные опухоли, доступные непосредственному осмотру, (например, рак кожи), то практически клиническое распознавание рака пока обеспечивается только по достижении опухолью округлой формы размером не менее 1 см в диаметре. При учете, что у многих больных отсутствуют тягостные субъективные ощущения, достаточные для обращения к врачу, практически клиническая фаза заболевания проявляется только по достижении опухолью размеров, превышающих 1 см. Опухоль диаметром 1 см содержит один миллиард клеток (10^9). Теоретические расчеты показывают необходимость подведения в таком случае однократной дозы более 30 Гр при условии хорошей оксигенации клеток. Для аноксических клеток эта доза должна быть увеличена более чем вдвое. При этом уничтожение опухолевых клеток неизбежно сопровождается гибелью здоровых клеток, находящихся непосредственно в зоне облучения. Возможность такого облучения в некоторых клинических ситуациях при благоприятном анатомо-топографическом расположении опухоли и предпосылках к замещению дефекта окружающими тканями может быть, хотя и относится к области известного риска. Приведенные данные теоретических расчетов показывают, что превышение опухолью размеров диаметром более 1 см уже создает сложную ситуацию для радикального лучевого лечения.

Из практического опыта лучевой терапии известно немало примеров стойкого излечения сравнительно больших новообразований и, наряду с этим, имеют место неудачи при лечении небольших опухолей в начальном периоде заболевания. Это дает основание предполагать, что помимо количества опухолевых клеток, большое значение в исходе лучевой терапии имеют и другие факторы. Ограничимся здесь упоминанием некоторых из них. Это первичная и приобретенная радиочувствительность клеток, насыщенность клеток кислородом, иммунные факторы и др. Таким образом, величина опухоли является решающим фактором в исходе лучевой терапии. Величина опухоли фактически устанавливает предел возможностей радикальной лучевой терапии как

самостоятельного метода лечения рака. Этим пределом, вероятно, являются опухоли, по объему не превышающие примерно 100 см^3 , что соответствует диаметру округлой опухоли не более 5,8 см.

Успех лучевой терапии зависит от наибольшей концентрации дозы излучения в опухоли и направленного изменения радиочувствительности опухоли и окружающих ее нормальных тканей с помощью различных средств и методов. Следовательно, центральной проблемой лучевой терапии является искусственное управление лучевыми реакциями нормальных и опухолевых клеток с целью максимального повреждения опухоли и сохранения нормальных тканевых элементов. Средства, которые усиливают лучевые реакции здоровых клеток, называют радиомодифицирующими агентами.

Оптимизация лучевых методов лечения

Существует три направления оптимизации лучевых методов лечения злокачественных опухолей:

Использование новой техники и новых видов ионизирующих излучений, рассчитанных на особенности их биологического действия и преимущественную локализацию энергии в опухолевом очаге (в частности, это касается тяжелых заряженных частиц).

Разработка режимов облучения, учитывающих различия цитокинетических параметров злокачественных и нормальных тканей, а также в механизмах развития непосредственных и отдаленных эффектов облучения.

Разработка способов искусственного управления радиочувствительностью здоровых и опухолевых тканей с помощью различных модифицирующих агентов избирательного действия (радиомодификация).

Использование новой техники и новых видов ионизирующих излучений. Наряду с традиционно используемыми электромагнитными ионизирующими излучениями (тормозное и гамма-излучение) и электронным (“пучок” электронов) возможно использование “новых” видов ионизирующих излучений для лечения опухолей, а именно, тяжелых ядерных частиц. К ним относятся протоны, тяжелые ионы, отрицательные π -мезоны и нейтроны. За исключением последних, перечисленные тяжелые частицы являются заряженными, и их применение рассчитано на повышение эффективности лучевой терапии за счет улучшения пространственного распределения излучения и его концентрации в опухоли. Заряженные ядерные частицы (протоны, альфа-частицы), ускоренные до больших скоростей в современных ускорителях, равно как и получаемые при ядерных взаимодействиях π -мезоны, после определенного (зависящего от их энергии) пробега в тканях тормозятся и теряют максимум своей энергии в конце пробега, образуя так называемый пик Брэгга. Локализуя этот пик в зоне опухоли, можно резко снизить лучевую нагрузку на окружающие ткани по ходу пучка и почти полностью исключить облучение тканей, находящихся позади облучаемой мишени. Преимущества облучения тяжелыми заряженными частицами перед фотонным облучением состоят также в незначительном рассеивании излучения, что дает возможность формировать поля с четкими контурами; благодаря одинаковой энергии частиц, они обладают одинаковым пробегом, а применение дополнительных поглотителей позволяет остановить их на заданной глубине. Например, спад от 90% к 10% изодозы гелиевого пучка (α -частицы), используемого для облучения опухолей сетчатки глаза, происходит на расстоянии всего 1,3 мм. Кроме того, при облучении тяжелыми заряженными частицами снижается влияние кислородного эффекта, и нивелируются различия в радиочувствительности отдельных стадий клеточного цикла. Совокупность этих свойств позволяет рассчитывать на дополнительное повышение терапевтической эффективности тяжелых заряженных

частиц. Эти преимущества особенно явно проявляются при лечении четко ограниченных мишеней, располагающихся вблизи критических структур, например, опухолей сетчатки и меланомы глаза, опухолей поджелудочной и предстательной желез, гипофиза. По данным лаборатории Лоуренса (США), излечить меланому сетчатки не удалось только у 8 из 190 больных при применении тяжелых заряженных частиц, причем, благодаря небольшому объему облучения доза 70 - 90 Гр была подведена в виде нескольких крупных фракций. Теми же свойствами обладают и нейтроны, однако они не имеют пика Брэгга, и дозовое распределение их близко к фотонному излучению, что не позволяет сосредоточить энерговыделение в опухоли. Дистанционная терапия быстрыми нейтронами (получаемыми на ускорителях или генераторах), а также аппликационная терапия с помощью испускающего нейтроны ^{252}Cf основаны на высокой ЛПЭ, ибо распределение дозы, создаваемой нейтронами в нормальных тканях, такое же, как и γ -излучения.

При всех очевидных преимуществах использования пучков тяжелых ядерных частиц нельзя не учитывать, что их применение в широкой медицинской практике сдерживается большими техническими трудностями и требует значительных экономических затрат. Кроме того, эффективность их использования значительно осложняется трудностью определения точных границ опухолевого очага из-за характерного для опухоли прорастания в окружающие ткани, а это предопределяет необходимость увеличения объема облучения.

Значение времени и фракционирования облучения.

Биологический эффект определяется не только качеством излучения, величиной разовой и суммарной поглощенной дозы, но и распределением ее во времени. Уже в начале 20-го века обратили внимание на то, что облучение в дозах меньшей мощности в течение длительного времени дает более сильный биологический эффект, чем доза большей мощности за короткий период облучения. Экспериментальные и клинические данные свидетельствуют о том, что одна и та же суммарная поглощенная доза, но подведенная одновременно или дробно с определенными интервалами времени между фракциями облучения, дает различную биологическую реакцию. На конечный результат дробного лучевого воздействия оказывает влияние: 1) величина разовых поглощенных доз, 2) длительность перерывов между сеансами облучения, 3) общая протяженность курса облучения, 4) суммарная доза.

О влиянии дробного облучения на степень реакции можно судить по следующему примеру. Однократной смертельной дозой излучения для собаки является 6 Гр, а при ежедневном облучении ее дозой по 0,1 Гр суммарная смертельная доза увеличивается в 10 раз.

В настоящее время в клинической практике находят применение: 1) одномоментное облучение; 2) непрерывное облучение (внутриканевой метод); 3) дробное, или фракционированное, облучение – один из основных методов наружного дистанционного облучения, причем применяется: мелкое фракционирование – разовая очаговая доза 1,8-2,0 Гр; среднее – 3-4 Гр; крупное – 5 Гр и более.

К 40-м годам 20-го века стало общепринятым облучение опухолей 5 раз в неделю по 2 Гр в день. Такой курс, состоящий из 30 фракций по 2 Гр, широко используется в современной радикальной лучевой терапии и обозначается как “стандартный”.

Какие процессы идут в клетках и тканях при фракционированном облучении?

Наиболее важными из них, в максимальной степени определяющими отличие конечного итога фракционированного воздействия от однократного является:

Восстановление клеток от сублетальных и потенциально летальных повреждений. Этот процесс начинается во время самого облучения и в основном заканчивается в течение первых 6 ч после облучения.

Вторым по длительности является процесс рассинхронизации клеточной

популяции, которая в результате облучения оказывается обогащенной клетками, находившимися во время сеанса в радиорезистентных фазах цикла.

Третий процесс – реоксигенация – специфичен только для опухолей, т.к. там исходно имеется фракция гипоксических клеток. Гибель после облучения части клеток опухолевой популяции, в первую очередь, хорошо оксигенированных и поэтому более радиочувствительных клеток, уменьшает общее потребление опухолью кислорода и, вследствие этого, увеличивает его диффузию в ранее гипоксические зоны. Благодаря реоксигенации в условиях фракционирования удастся иметь дело с более радиочувствительной популяцией опухолевых клеток, чем при однократном воздействии. Реоксигенация, как называют исследования на перевиваемых новообразованиях, длится 1-3 сут.

4. Четвертый процесс – репопуляция опухолей и нормальных тканей, которому, как и репарации, уделяется наибольшее внимание при разработке режимов фракционирования. Под репопуляцией обычно понимают восстановление численности клеток в облучаемом объеме, снизившемся в результате лучевого воздействия. Используется также термин "ускоренная репопуляция", которым обозначают более быстрое размножение клеток по сравнению с происходившим до облучения. Резервом для ускоренной пролиферации является сокращение длительности клеточного цикла, т.е. времени роста клетки от одного деления до другого, меньший выход клеток из цикла в фазу покоя G_0 . После лучевого воздействия часть клеток погибает, а к оставшимся подходит больше кислорода, питательных веществ, ускоряется отток от них катаболитов, уменьшается давление со стороны соседних клеток, что приводит к ускорению их пролиферации. Ранее считалось, что ускорение в нарастании массы ткани после облучения свойственно только нормальным тканям благодаря "гомеостатическому контролю со стороны организма". Сейчас известно, что ускоренная репопуляция происходит и в опухолях.

Режимы фракционированного облучения.

Сплит-курс. Расщепленный, или, используя английский термин "сплит", курс отличается от "стандартного" наличием в середине 2-3 недельного перерыва в облучении. Он был предложен с целью снижения интенсивности острых лучевых реакций, которые при лечении опухолей некоторых локализаций (например, головы и шеи) не позволяют подводить требуемую дозу. Сплит-курс сохраняет свою ценность при лечении ослабленных пожилых больных или тех локализаций опухоли (например, полости рта), когда острые лучевые реакции препятствуют проведению непрерывного курса облучения.

Гипофракционирование, т.е. использование небольшого количества крупных фракций. Обычным видом гипофракционирования является режим крупнофракционного облучения, который включает несколько фракций по 5-6, реже до 10 Гр, подводимых с интервалом в 5-7 дней до суммарной дозы в 30-45 Гр. Курс лечения – 3-9 недель. Облучение в этом режиме способствует быстрой остановке роста опухоли, хорошо переносится больными и очень удобно для амбулаторной лучевой терапии. В режиме гипофракционирования традиционно проводится облучение метастазов в кости. За счет использования 2-3 фракций по 6-8 Гр достигается быстрый анальгезирующий эффект. Этот режим удобен и для использования с различными модификаторами. Если схемы гипофракционирования, в основном, направлены для создания более удобных условий для облучения больных и при этом получение такого же результата, что и от «стандартного» режима, то режимы мультифракционирования имеют целью улучшение результативности лечения, под которым понимают, как увеличение процента излеченности опухолей, так и снижение числа лучевых осложнений. К обоснованию схем мультифракционирования клиническая радиобиология привлечена в наибольшей мере.

Мультифракционированием обычно принято обозначать режим лучевой терапии с

проведением в день 2, иногда 3 сеансов облучения. Для обозначения различных вариантов мультифракционирования используются такие термины как гиперфракционирование, ускоренное фракционирование.

Гиперфракционирование. Сейчас в качестве предпосылки использования гиперфракционирования рассматривается более высокий репарационный потенциал медленнопролиферирующих, поздне реагирующих тканей по сравнению с быстро пролиферирующими, к которым относят и опухоли. При росте числа фракций в большей мере ослабляются лучевые реакции медленнопролиферирующих, поздне реагирующих тканей. Соответствующее снижение эффективности воздействия на опухоли компенсируется увеличением дозы, а сопутствующее усиление ранних лучевых реакций рассматривается как не представляющее угрозы для жизни и в значительной мере нивелируемое при лучшем уходе за больными. Гиперфракционирование, соответственно, должно использоваться при лечении опухолей таких локализаций, когда фактором, лимитирующим увеличение дозы, являются поздние лучевые поражения. Интервал между фракциями, согласно данным экспериментальных исследований, для полной репарации должен составлять не менее 6 часов. Расчеты показывают, что разделение ежедневной дозы в 2 Гр на 2 фракции по 1 Гр даст возрастание толерантного уровня поздне реагирующих тканей на 15-25%, в то время как для компенсации снижения эффективности поражения опухолей потребуется всего лишь 10% повышение дозы. Разница между этими величинами и составляет выигрыш от применения гиперфракционирования.

Так, гиперфракционирование использовалось в рандомизированном клиническом исследовании лечения рака ротоглотки ротоглотки (I.C.Horiot и соавт., 1984). Результаты показали, что лечение $70 \times 1,15$ Гр (две фракции по 1,15 Гр с интервалом 4-6 ч, суммарная доза 80,5 Гр) вызвало примерно такое же количество поздних лучевых повреждений, как и схема 35×2 Гр (70 Гр за 7 недель). Однако большая суммарная доза при гиперфракционировании вызвала увеличение на 19% частоты местной излеченности опухоли.

Во многих случаях гиперфракционирование сочетается с элементами *ускоренного фракционирования*. Этот режим облучения предназначен для лечения опухолей с высокой скоростью деления клеток, когда сокращение курса способно уменьшить отрицательную роль репопуляции. К числу опухолей с высокой скоростью роста относятся, например, злокачественные лимфомы и ряд опухолей головы и шеи, рост которых, несмотря на высокую радиочувствительность клеток, у отдельных больных продолжается даже во время лучевой терапии с ежедневным облучением в дозе 2 Гр. При использовании этого метода однако возникает значительный рост ранних лучевых реакций. Особое внимание специалистов привлекает так называемое непрерывное ускоренное гиперфракционированное облучения (НУГО) опухолей головы и шеи и карциномы легких. Облучение проводится 3 раза в день по 1,5 Гр с 6 часовым интервалом в течение 12 дней без перерыва до СОД 54 Гр. В этих условиях большая ежедневная доза и отсутствие перерыва (даже в выходные дни) должны способствовать усилению поражения опухолей. При гораздо лучших результатах лечения опухолей после НУГО, по сравнению с историческим контролем, отдаленные лучевые поражения были менее тяжелыми. Заканчивая рассмотрение ускоренного фракционирования, упомянем об его использовании для сокращения длительного лечения, что бывает важным при паллиативном облучении больных.

Динамическое фракционирование. Этим термином обозначают режимы с меняющейся в течение курса величиной проводимой фракции.

Определение толерантных доз при различных режимах фракционирования. Важнейшим условием успешной лучевой терапии является сохранение жизнеспособности

нормальных тканей и органов, находящихся в зоне воздействия радиации. Это относится не только к окружающим опухоль анатомическим структурам, но и к самой “мишени”, подвергающейся наиболее интенсивному облучению. Кроме элементов опухоли, в ней содержатся сосуды и другие соединительнотканые образования, от регенераторной способности которых зависит дальнейшее течение заболевания. Даже при полном уничтожении всех клеток опухоли исход заболевания будет неблагоприятный, если превышает толерантность нормальных тканей. Наступающие при этом лучевые поражения протекают не менее тяжело, чем основное заболевание. Толерантность – это предельная лучевая нагрузка, не приводящая к необратимым изменениям тканей. Она зависит не только от величины поглощенной дозы, но и от распределения ее во времени. В условиях фракционированного облучения величина толерантности выражается в виде номинальной стандартной дозы (НСД). Предложена концепция НСД F.Ellis (1969, 1971, 1973):

$$\text{НСД} = D / (N^{0,24} \cdot T^{0,11}), \quad \text{где}$$

D - суммарная поглощенная доза (сГр);

N - число фракций дозы;

T - длительность курса лечения, включая первый и последний день.

Толерантный уровень соединительной ткани по концепции НСД равен 1800 терапевтическим эквивалентам рада (тэр).

Величина биологического эффекта накапливается постепенно с каждой последующей фракцией дозы, и поэтому получила название “кумулятивного радиационного эффекта” (КРЭ). Предложена концепция I.Kirk, Grey W. и др. (1971)».

Она выражается в виде формулы:

$$\text{КРЭ} = \Phi \cdot q \cdot d \cdot (T/N)^{-0,11} \cdot N^{0,65}, \quad \text{где}$$

d – разовая доза, сГр;

Φ – поправка на облучаемый объем;

q – коэффициент относительной биологической эффективности излучения.

Единицей КРЭ является “ерэ” – единица радиационного эффекта. Толерантность соединительной ткани и кожи составляет около 1800 ерэ, что соответствует 60 Гр при площади облучения 100 см² при разовой дозе 2 Гр ежедневно, 5 раз в неделю. Приведенные формулы являются эмпирически обоснованными в многочисленных экспериментальных и клинических исследованиях, получивших всеобщее признание. НСД и КРЭ могут применяться при курсах лечения, характеризующихся регулярным ритмом облучения с числом фракций более 4, постоянной величиной разовой дозы и общей длительностью от 10 до 100 дней при мощности дозы не менее 20 сГр /мин. Простое сложение величины КРЭ, например, при расщепленных или повторных курсах лечения, а также при изменении ритма облучения недопустимо.

С целью преодоления этих трудностей был предложен фактор ВДФ – «время -доза - фракционирование». Фактор ВДФ предложен С.Orton и F.Ellis (1973). Он основан на тех же предпосылках и выражается в виде:

$$\text{ВДФ} = N \cdot d^{1,538} (T/N)^{-0,169} \cdot 10^{-3}, \quad \text{где}$$

d – разовая доза, сГр,

N - число фракций дозы,

T - длительность курса лечения, включая первый и последний день.

Величина ВДФ, соответствующая полной толерантности соединительной ткани, принимается за 100, что соответствует 1800 ерэ. Большим преимуществом ВДФ является возможность простого сложения значений, получаемых при различных курсах лечения, отличающихся по своему ритму. Путем математических преобразований была получена возможность расчета фактора ВДФ для каждой отдельной фракции дозы, что позволяет применять его при аритмичных курсах лучевого лечения с различными разовыми дозами

и интервалами между отдельными сеансами. КРЭ и ВДФ связаны между собой соотношением: $KРЭ = (ВДФ \cdot 10^3)^{0,65}$

Таким образом, переход от одной системы к другой не представляет трудностей и может быть осуществлен с помощью соответствующих таблиц и графиков. Обе системы КРЭ и ВДФ неразрывно связаны и имеют свои преимущества и недостатки. В некоторых случаях можно применить только фактор ВДФ (например, аритмичный курс лечения, мультифракционирование), в других – только КРЭ (повторные курсы лечения, расщепленный курс, поправка на облученный объем). Однако всегда возможен переход от одной системы к другой на конечном или промежуточном этапе расчета. Рекомендуется выражать конечный результат в ерэ, т.к. лишь таким путем можно учесть все имеющие значение факторы, включая величину облучаемого объема.

Искусственное изменение радиочувствительности как способ повышения эффективности лучевого лечения опухолей. В зависимости от чувствительности опухолей к радиации их классифицируют на радиочувствительные, которые после облучения исчезают полностью, без некроза окружающей соединительной ткани, и радиорезистентные, которые не исчезают при дозах, разрушающих соединительную ткань. Имеются следующие по радиационной чувствительности опухоли:

Радиочувствительные опухоли: семинома, тимома, лимфосаркома, опухоль Юинга, все случаи базальноклеточного рака и некоторые эпителиомы.

Умеренно радиочувствительные опухоли: плоскоклеточный рак.

Умеренно радиорезистентные опухоли - аденокарциномы.

Радиорезистентные опухоли – нейрофибросаркомы, остеогенные саркомы, фибросаркомы, тератомы, кожные меланомы, хондросаркомы.

Радиомодификация – включает в себя различного рода способы увеличения радиочувствительности опухолей не только в прямом смысле слова, но и путем относительного возрастания ее за счет снижения радиопоражаемости здоровых окружающих тканей.

Радиомодификация на основе кислородного эффекта: гипербарическая оксигенация и гипоксиреадитерапия. Гипербарическая оксигенация (ГБО): радиобиологическим обоснованием ГБО послужило очень низкое (0-10 мм. рт. ст.) парциальное давление кислорода в гипоксических клетках опухолей. Оксигенация этих клеток в соответствии с кислородным эффектом должна привести к повышению их радиочувствительности. При этом нормальные ткани, напряжение кислорода в которых 40 мм. рт. ст. и более, уже при дыхании воздухом обладают максимальной радиочувствительностью и при дополнительной оксигенации она заметно не увеличивается. Однако проведенные клинические испытания показали, что потенциальные возможности ГБО невелики. В настоящее время основной причиной этого считают фактическую невозможность доставки достаточного количества кислорода в гипоксические зоны, чему препятствует большая реактогенность кислорода. Кроме того, избыток кислорода приводит к вазоконстрикторному эффекту.

Чтобы устранить эти недостатки ГБО, с начала 70-х годов и до настоящего времени разрабатываются методы повышения радиочувствительности гипоксических клеток опухолей с помощью химических радиосенсибилизаторов. С этой целью используют соединения с электроноакцепторными свойствами. Имитируя действие кислорода (его сродство к электрону), такие соединения избирательно сенсибилизируют клетки в условиях гипоксии. Электроноакцепторные соединения (ЭАС) представляют большой практический интерес, так как в отличие от кислорода они медленнее метаболизируют, поэтому проникают в более отдаленные аноксические зоны опухоли. ЭАС, как и другие радиосенсибилизаторы (например, O_2), наиболее эффективны при действии редкоионизирующей радиации. При использовании излучений с высокими значениями

ЛПЭ их эффективность снижается. Наиболее известным препаратом среди ЭАС к настоящему времени стал метронидазол (который применялся как противотрихомонадное средство, коммерческие названия – трихопол, флагил). Аналогичным эффектом обладает и другой нитроимидазол – мизонидазол, который был синтезирован и начал изучаться несколько позднее метронидазола. Выяснилось, что ЭАС несколько улучшают результаты лучевой терапии в схемах крупного и среднего фракционирования. Однако эффект оказался ниже ожидаемого. В настоящее время основной причиной этого считают фактическую невозможность доставки достаточного количества радиосенсибилизатора в гипоксические зоны, чему препятствует высокая токсичность имеющихся в распоряжении медиков ЭАС.

Гипоксирадиотерапия. Термин "гипоксирадиотерапия" применяется для обозначения метода лучевого лечения опухолей на фоне вдыхания больными газовых смесей с пониженным по сравнению с воздухом содержанием кислорода (10% и 8%). Было показано, что развивающаяся при дыхании гипоксия обеспечивает преимущественную защиту нормальных тканей организма. В процессе экспериментального обоснования гипоксирадиотерапии было показано, что хорошо оксигенированные нормальные ткани под влиянием острой гипоксии защищаются существенно лучше, чем клетки опухолей. Непосредственные и ближайшие результаты клинической апробации гипоксирадиотерапии при предоперационном и самостоятельном лучевом лечении больных раком молочной железы, легкого, желудка, толстой кишки, шейки матки, а также с опухолями головы и шеи свидетельствуют о значительном ослаблении местных и общих побочных лучевых реакций без снижения, а в некоторых случаях с повышением противоопухолевого эффекта.

Радиомодификация на основе гипертермии (терморрадиотерапия). Высокая эффективность гипертермии как радиомодификатора обусловлена несколькими обстоятельствами, среди которых необходимо указать на следующие:

1. Гипертермия обладает собственным повреждающим действием на клеточном уровне, причем эффект зависит от температуры и продолжительности нагрева.

2. Гипертермия наряду с повреждающим действием характеризуется значительным радиосенсибилизирующим эффектом вследствие временного нарушения процессов репарации, что приводит к значительному повышению клеточной радиочувствительности, также зависящему от температуры, продолжительности нагрева и временного интервала, разделяющего нагревание и облучение.

3. В отличие от ионизирующей радиации при нагревании снижение концентрации кислорода в тканях не приводит к ослаблению повреждающего и радиосенсибилизирующего эффекта. Таким образом, гипертермия позволяет преодолеть радиорезистентность гипоксических опухолевых клеток.

4. В гипертермии наблюдается другая зависимость чувствительности от стадии клеточного цикла, чем та, которая характерна для ионизирующей радиации. Так наибольшей радиорезистентностью характеризуется поздний S-период, при нагревании период синтеза ДНК наиболее чувствителен. В последние годы полагают, что повреждение одного из ферментов синтеза ДНК – β -полимеразы является ключевым в цепи всех процессов, ведущих как к тепловой гибели, так и к тепловой радиосенсибилизации.

5. Обычно клетки опухоли обладают той же термочувствительностью, что и клетки окружающих нормальных тканей, но из-за ряда особенностей опухоли: низкого кровотока, наличия резко сниженных значений рН в гипоксических зонах, питательной недостаточности, ее клетки повреждаются значительно сильнее, чем клетки нормальных тканей.

Химические радиопротекторы (цистамин, мексамин) широкого применения не

нашли из-за небольшой широты их терапевтического действия: количества препаратов, оказывающие заметное защитное действие, вызывают выраженный побочный эффект, а применение их в нетоксичных дозах малоэффективно.

Важную роль в радиочувствительности биологических тканей играют *биоантиокислители*. Применение антиоксидантного комплекса витаминов (А, С, Е) позволяет ослабить лучевые реакции нормальных тканей, благодаря чему открывается возможность применения интенсивно-концентрированного предоперационного облучения в канцерцидных дозах малочувствительных к радиации опухолей (рак желудка, поджелудочной железы, толстой кишки).

Исходя из стратегических задач оказания помощи онкологическим больным, лучевая терапия может быть использована: 1) как самостоятельный метод лечения; 2) в комбинации с хирургическим вмешательством; 3) в сочетании с химиогормонотерапией; 4) в качестве мультимодальной терапии.

Лучевая терапия как основной или самостоятельный метод антибластного лечения применяется в случаях:

- когда она является предпочтительной либо в косметическом, либо в функциональном отношении, а отдаленные результаты ее одинаковы по сравнению с таковыми при применении других методов лечения онкологических больных;
- когда она может быть единственно возможным средством помощи неоперабельным больным со злокачественными новообразованиями;
- при отказе от оперативного лечения.

Лучевая терапия как самостоятельный метод лечения может быть проведена по радикальной программе, использована как паллиативное и симптоматическое средство помощи больным.

Радикальная лучевая терапия направлена на полное излечение больного от опухоли и регионарных метастазов путем подведения канцерцидной дозы радиации. Уровни канцерцидных доз для различных опухолей неодинаковы и устанавливаются в зависимости от гистологического ее строения, митотической активности и степени дифференцировки клеточных элементов. К числу опухолей, поддающихся радикальному лечению (радиокурабельные опухоли), относят рак кожи, губы, носоглотки, гортани, молочной железы, шейки матки и эндометрия, предстательной железы, а также семиномы, локализованные лимфомы, лимфогранулематоз, аденомы гипофиза. Понятно, успех может быть достигнут на относительно ранних стадиях.

Паллиативная лучевая терапия предпринимается для уменьшения размеров опухоли и ее метастазов, стабилизации опухолевого роста и используется в тех случаях, когда невозможна лучевая терапия по радикальной программе, при этом суммарная очаговая доза (СОД), как правило, составляет 2/3 канцерцидной.

Симптоматическая лучевая терапия применяется для снятия или уменьшения клинических симптомов злокачественного поражения, могущих привести к быстрой гибели больного или существенно ухудшающих качество его жизни. Облучение с симптоматической целью проводится по жизненным показаниям при опухолях таких локализаций, при которых лучевая терапия – единственный метод лечения (синдром сдавления верхней полой вены, компрессионный синдром, обусловленный быстрорастущей опухолью мозга, острая асфиксия при быстрорастущей опухоли трахеи, первичные и метастатические опухоли, вызывающие сдавление спинного мозга). Суммарная поглощенная доза излучения устанавливается индивидуально в зависимости от достигнутого эффекта.

Комбинированное лечение. Этот термин используется, когда в той или иной последовательности для специального лечения злокачественных опухолей применяется оперативное лечение и лучевая терапия. Лучевая терапия в комбинации с хирургическим

вмешательством может быть использована в предоперационном периоде, после операции и интраоперационно.

Предоперационное облучение проводится с целью: улучшения условий выполнения радикальной операции и снижения частоты развития местных рецидивов и отдаленных метастазов. Задачи предоперационной лучевой терапии:

Разрушение наиболее радиочувствительных клеток и понижение жизнеспособности оставшихся опухолевых элементов;

Устранение воспалительных явлений в опухоли и вокруг нее;

Стимуляция и развитие соединительной ткани и инкапсуляция отдельных комплексов раковых клеток;

Облитерация мелких сосудов, ведущая к понижению васкуляризации стромы опухоли и тем самым к уменьшению опасности метастазирования;

Перевод опухолей в операбельное состояние.

Многолетний опыт проведения комбинированного лечения показывает, что очаговая доза не более 40 Гр, подводимая по 2 Гр ежедневно в течение 4 недель, не вызывает затруднений при выполнении последующей операции и не оказывает заметного влияния на заживление послеоперационной раны. То же можно сказать и о других режимах фракционирования по биологическому эффекту эквивалентных 40 Гр обычным фракционированием (25 Гр за 5 фракций). Доза 40-45 Гр приводит к гибели 90-95% субклинических очагов опухолевого роста. Превышение дозы 40-45 Гр, хотя и желательно для усиления повреждающего эффекта на опухолевые клетки, но может увеличить частоту послеоперационных осложнений. В настоящее время наиболее часто используют две методики предоперационного дистанционного облучения:

1) ежедневное облучение первичной опухоли и регионарных зон в дозе 2 Гр до СОД 40-45 Гр за 4-4,5 недели лечения;

2) облучение аналогичных объемов в дозе 5 Гр в течение 5 дней до СОД 25 Гр.

В первом варианте операцию выполняют через 2-3 недели, а во втором – не позднее 1-3 дней; она рекомендуется только для лечения больных с операбельными злокачественными опухолями.

Послеоперационная лучевая терапия имеет цель: увеличить эффективность операции с помощью лучевого воздействия на оставленные или имплантированные во время хирургического лечения (вмешательства) опухолевые элементы. Послеоперационное облучение, как и предоперационное, в конечном итоге, направлено на предупреждение рецидивов и уменьшение метастазирования злокачественной опухоли. Ее задачи:

1) “стерилизация” операционного поля от рассеянных в процессе оперативного вмешательства злокачественных клеток и их комплексов;

2) эрадикация оставшихся злокачественных тканей после неполного удаления опухоли и метастазов.

Показания к проведению послеоперационного облучения: в случаях, когда оперативное вмешательство радикально выполнить невозможно (опухоли ЦНС, ротоглотки, забрюшинного пространства), выход опухоли за пределы того слоя, в котором она возникла, распространение по лимфатической системе, органосохраняющие операции.

Следует заметить, что послеоперационное облучение проводится в условиях, способствующих повышению радиорезистентности опухолевых клеток (из-за нарушения крово- и лимфообращения). Одновременно радиочувствительность нормальных тканей в состоянии регенерации повышается. Все это приводит к уменьшению радиотерапевтического интервала. Однако можно отметить определенные достоинства послеоперационной лучевой терапии:

1) выбор объема и методики облучения проводят на основе данных, полученных во

время операции и после тщательного морфологического изучения удаленных тканей;

2) оперативное лечение выполняют максимально быстро, после уточняющей диагностики.

Послеоперационное облучение проводят при условии полного заживления послеоперационной раны, через 2-3 недели после операции. Облучают обычными фракциями в СОД 50 Гр при отсутствии злокачественных клеток в операционных разрезах, при их наличии – 60 Гр.

Интраоперационная лучевая терапия предусматривает однократное облучение операционного поля или неоперабельных опухолей во время лапаротомии электронным пучком с энергией 10-15 МэВ в дозе 14-20 Гр.

Комплексная лучевая терапия предусматривает сочетанное использование лучевой и химиотерапии и преследует двоякую цель: взаимное усиление воздействия ионизирующей радиации и химиотерапии на первичную опухоль (достижение аддитивного, потенцирующего и синхронизирующего эффектов), а также создание условий для профилактики метастазов и лечения субклинических или же выявленных метастазов. Различают два основных варианта комплексного лечения:

1) когда лучевая терапия – основной, или базовый, метод, а химио-гормональное лечение – дополнительный, направленный на излечение отдаленных метастазов, при этом подводится СОД не ниже 60 Гр.

Так, при комплексном лечении больных инфильтративно-отечными формами рака молочной железы облучение проводят в дозах не менее 60 Гр на молочную железу, 55-60 Гр на зоны регионарного метастазирования. Адъювантная химиогормонотерапия направлена на эрадикацию возможных субклинических отдаленных метастазов и в меньшей степени на повреждение первичного очага в молочной железе (это относится и к немелкоклеточному раку легкого, головы, шеи, пищевода, эндометрия и т.д.).

2) когда ионизирующее излучение используется как адъювантное средство химиолучевого лечения. В этих случаях дозы облучения могут быть уменьшены на 1/3 от “канцерицидной” и составляют 30-36 Гр. Применяется при лечении опухолей яичка, нефробластомах, лимфогранулематозе, злокачественных неходжкинских лимфомах.

Используется, как правило, вариант обычного фракционирования дозы, т.к. возможен синергизм и в отношении поражения здоровых тканей. Последовательность может варьировать в зависимости от конкретной локализации.

Мультимодальная терапия онкологических больных предусматривает оптимальное использование современных методов хирургического, лучевого и лекарственного лечения, а также сочетание их с радиомодифицирующими воздействиями.

Показания к лучевой терапии злокачественных опухолей. В настоящее время показания к лучевому лечению злокачественных опухолей достаточно широки – 65-70% онкологических больных как в неоперабельной, так и в операбельной стадиях заболевания подлежат такому лечению.

Показания к лучевой терапии определяются на основании всесторонней оценки состояния органов и систем больного и характеристики выявленного опухолевого поражения. Поэтому с помощью клинических, лучевых, инструментальных и лабораторных методов определяют состояние органов и систем больного, локализацию и характер роста опухолей, стадию ее развития. Там, где это возможно, стадию устанавливают на системе TNM, где Т – параметры опухоли, N – наличие или отсутствие вовлечения лимфоузлов, а М – наличие или отсутствие отдаленных метастазов. Требуется морфологическое подтверждение клинического диагноза посредством биопсии, цитологического изучения пунктатов или смывов. Главной стратегической основой успешности хирургического, лучевого и медикаментозного лечения является ранняя диагностика опухолевого процесса. В онкологической клинике применяют три основных

(специальных) варианта лечения больного: хирургический, лучевой и химиотерапевтический. План лечения определяется консилиумом в составе: хирурга (онколога), лучевого терапевта и химиотерапевта, а также других специалистов в зависимости от клинической ситуации.

Противопоказания к лучевой терапии:

1. Распад или прорастание опухоли в соседние органы.
2. Наличие отдаленных (особенно множественных) метастазов.
3. Общее тяжелое состояние больного за счет интоксикации.
4. Кахексия.
5. Выраженная анемия, лейкопения, тромбоцитопения.
6. Септические заболевания, активный туберкулез легких.
7. Недавно перенесенный инфаркт миокарда (менее года назад).
8. Декомпенсация кровообращения, функции печени и почек.

Клинико-дозиметрическое планирование лучевой терапии. Основной принцип лучевой терапии – излечение опухоли при максимальном щажении нормальных органов и тканей. Для реализации его в клинике большое внимание уделяется разработке способов повышения эффективности лучевого воздействия на основе пространственного и временного распределения дозы ионизирующего излучения и применения средств, изменяющих (модифицирующих) лучевые реакции опухоли и организма.

Цель планирования лучевой терапии - включение в зону облучения минимально возможного объема тканей, но в то же время достаточного для воздействия на все опухолевые элементы. Исходя из этого, различают 5 типов объемов облучения. Большой (макроскопический) объем опухоли (БОО) включает видимую опухоль. Клинический объем мишени (КОМ) включает видимую опухоль и объемы предполагаемого субклинического распространения. Концепция КОМ является клинико-анатомической. Планируемый объем мишени (ПОМ) включает КОМ и окружающие ткани с поправкой на вариации в размере, форме и положении относительно лечебных пучков, поэтому ПОМ является геометрической концепцией. Объем, который получает дозу, достаточную для радикального или паллиативного лечения с учетом толерантности нормальных тканей, обозначается как объем лечения. Наиболее оптимальное распределение дозы излучения достигается при объемном (трехмерном) планировании. Объемное планирование лежит в основе конформного облучения, при котором во время перемещения пучка излучения поле облучения регулируется по форме и размерам в соответствии с изменением поперечного сечения мишени, перпендикулярного направлению пучка в пространстве.

Служба предлучевой подготовки предназначена для проведения комплексной топографии больных, подлежащих различным видам лучевой терапии с использованием биометрических, рентгенологических, изотопных, УЗ и МРТ методов исследования, для клинико-дозиметрического обеспечения курса лучевой терапии.

Предлучевая подготовка и клиническая топометрия. Основой лучевого лечения онкологических больных является правильное подведение заданной дозы к злокачественному очагу при минимальном облучении окружающих его здоровых органов и тканей. Определение размеров, площади, объема патологических образований, органов и анатомических структур, описание в количественных терминах их взаимного расположения (синтопии) у конкретного больного называется *клинической топометрией*. Для того чтобы выбрать варианты и параметры программы облучения, нужно знать форму и размеры очага-мишени, ее ориентацию в теле пациента, а также синтопию окружающих органов и тканей, расстояние между мишенью и наиболее важными с точки зрения распределения лучевой нагрузки анатомическими структурами и критическими органами. Эти сведения позволяют получить различные методы лучевой диагностики, но наиболее часто применяется для этих целей рентгеновская компьютерная томография. Данные,

полученные при выполнении оперативных вмешательств, также позволяют определить размеры опухоли. Затем изготавливают схемы сечения тела на уровне “мишени” – так называемые топометрические схемы (т.е. производят клиническую топометрию). Современные системы дозиметрического планирования воспринимают топометрическую информацию непосредственно с магнитного носителя КТ и печатают топометрическую карту с нанесенным на ней выбранным распределением изодоз. Изодозные линии соединяют точки с одинаковым значением поглощенной дозы. Отмечают относительные значения – в процентах от максимальной поглощенной дозы, принимаемой за 100%. Для расчета изодозных кривых используются специальные компьютерные программы, которые учитывают пространственные параметры облучаемого объекта и дозиметрическую характеристику применяемого пучка излучения. Для того, чтобы составить представление о распределении поглощенных доз в облучаемом объеме, на топометрические схемы наносят изодозные кривые и получают, таким образом, карту изодоз. В практике лучевой терапии дозное распределение считают приемлемым, если вся опухоль заключается в дозе 100-90%, зона субклинического распространения опухоли и регионарного метастазирования находится в пределах 80% изодозы, а здоровые ткани – не более 50-30% изодозы.

Классификация методов лучевой терапии. Принято выделять методы лучевой терапии:

1) по энергии излучения; 2) по виду излучения; 3) по способу подведения энергии к очагу; 4) по распределению дозы во времени.

1. По энергии различают орто-, мега- и супервольтные излучения. Ортовольтное излучение имеет энергию от 40 до 400 кэВ, мегавольтное – от 1 до 15 МэВ и супервольтное – свыше 15 МэВ.

2. При применении квантовых излучений выделяют рентгенотерапию, гамма-терапию, а при использовании корпускулярных излучений – электронную, нейтронную, терапию и терапию тяжелыми заряженными частицами (протонами, пи-мезонами, альфа-частицами).

3. В практике лучевой терапии имеется разделение по способу облучения на наружные и внутренние методы. Дистанционными считаются все способы, когда источник излучения располагается на расстоянии от облучаемого объекта. К контактными относятся такие методы, при которых источник непосредственно прилежит к облучаемым тканям.

Дистанционное облучение может осуществляться статическим (неподвижное состояние источника и больного в процессе лечения) и подвижным (перемещение источника по отношению к неподвижному больному или больного в пучке излучения) методами.

Статическое облучение чаще всего осуществляют так называемым открытым полем, когда между источником и больным нет никаких преград, и пучок имеет конфигурацию, придаваемую ему коллимирующим устройством аппарата. Помимо облучения открытым полем применяют формирующие устройства, придающие пучку излучения необходимую конфигурацию. В качестве формирующих устройств используются клиновидные и решетчатые фильтры, расщепляющие и экранирующие блоки. Подвижное облучение проводится в виде ротационного, маятникового, а также ротационного облучения с переменной скоростью.

К наружным контактными методам лучевой терапии относят близкофокусную рентгенотерапию и аппликационное облучение.

Внутреннее облучение предусматривает введение радиоактивных источников в организм и классифицируется как лечение с помощью закрытых радионуклидов (брахитерапия) и открытых радионуклидов (системная терапия).

4. Существуют различные способы подведения СОД к патологическому очагу: одномоментное, дробное и непрерывное облучение.

Фракционированное облучение применяется при проведении дистанционного лучевого лечения близкофокусной рентгенотерапии и внутритканевой гамма-терапии.

Непрерывное облучение применяется при внутритканевом методе.

Одномоментное облучение используется в основном при внутритканевой терапии радиоактивными растворами и очень редко при дистанционном облучении (например, при облучении протонными пучками гипофиза).

Дозиметрическая характеристика методов лучевой терапии

Разные виды излучения существенно различаются по создаваемому ими дозному распределению в теле человека (рис. 6.1).

Дистанционная статическая лучевая терапия. Для дистанционной статической лучевой терапии характерно неподвижное взаимное расположение источника излучения и объекта в течение всего сеанса облучения. Для статического дистанционного облучения используются квантовые излучения: рентгеновские и гамма-лучи, тормозное излучение, генерируемое ускорителями, а также корпускулярное (электронное) излучение. В перспективе будут шире применяться нейтронное, протонное и альфа-излучения.

Гамма-терапия. Гамма-излучение создает дозу на поверхности кожи, равную приблизительно 70% максимальной, которая возникает на глубине 5-6 мм. По мере убывания энергии при дальнейшем прохождении излучения в ткани на глубине 10 см проходит 50% изодоза. Периферические отделы пучка гамма-лучей несут недостаточно энергии для получения устойчивого лечебного эффекта, поэтому на практике принято вписывать подлежащий излучению объем тканей в центральные части пучка, ограниченные 50% изодозой.

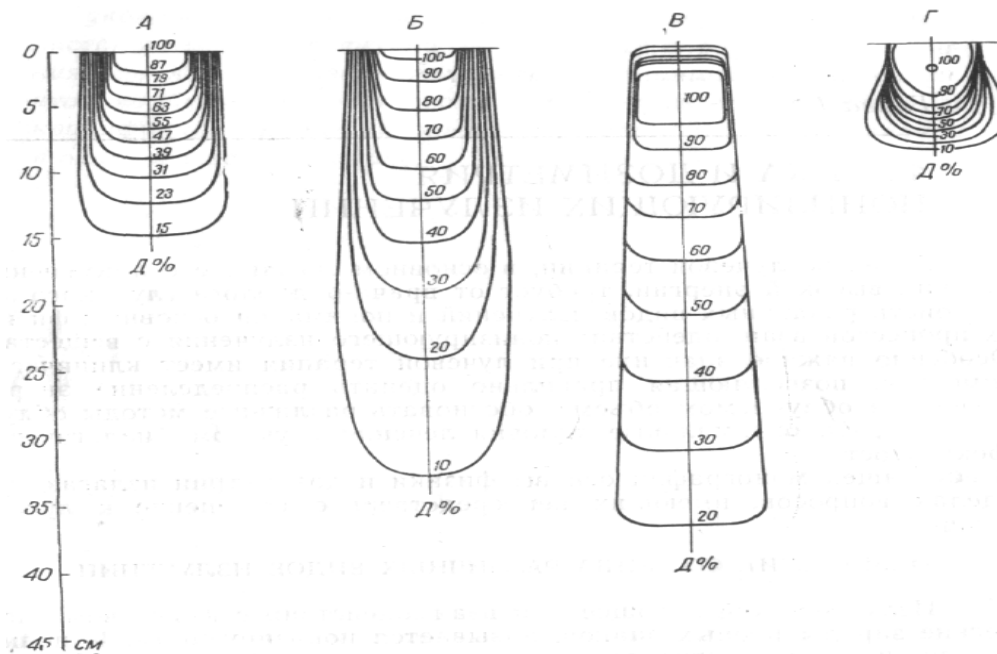


Рис. 6.1.

Распределение энергии излучения в тканезквивалентном фантоме.

А – при рентгенотерапии 250 кэВ;

Б – при гамма-терапии 1,25 МэВ;

В – при тормозном излучении высокой энергии 25 МэВ;

Г – при облучении быстрыми электронами 20 МэВ.

Терапия тормозным излучением ускорителей. В основном используются линейные ускорители, которые генерируют тормозное излучение с энергией от 4 до 42 МэВ. С возрастанием энергии излучения заметно увеличивается проникающая способность лучей и, соответственно, относительная глубинная доза. Кожная доза при использовании тормозного излучения с энергией 4- 42 МэВ составляет от 20 до 30% максимальной, т.е. существенно меньше, чем при гамма-терапии, а зона дозного максимума перемещается на глубину 1 см при энергии 4 МэВ и 4-5 см – при 25-42 МэВ. На глубине 10 см доза составляет 60-90% максимальной. Важной характеристикой тормозного излучения является почти полное отсутствие рассеянного излучения. Весь поперечник пучка несет почти одинаковую энергию. На практике это означает возможность применения более узких пучков (чем при гамма-излучении), уменьшение облучения соседних с опухолью тканей и, соответственно, уменьшению интегральной дозы.

Электронная терапия. Энергия электронов поглощается в тканях относительно равномерно на всем протяжении пробега этих частиц. Это означает, что весь слой тканей от кожи до зоны, в которой завершается поглощение моноэнергетического пучка электронов, облучается почти равномерно, а за пределами этой зоны наступает крутое падение дозы. Описанная закономерность не сохраняется у электронов с энергией свыше 10-15 МэВ, т.к. возникает квантовое излучение при торможении этих электронов в тканях. Дозиметрическая характеристика электронов высокой энергии указывает на целесообразность их применения при расположении патологического очага не глубже 5-7 см.

Терапия протонами, пи-мезонами и альфа-частицами. Энергия протонов, пи-мезонов и альфа-частиц относительно равномерно поглощается на всем пути их пробега, кроме заключительного короткого участка, на котором значительно выше линейная потеря энергии, и происходит поглощение всей остаточной энергии частиц. В результате пик поглощения энергии вышеуказанных тяжелых частиц располагается в конце пути (пик Брегга). Глубину положения этого пика можно менять, увеличивая или уменьшая энергию частиц, а при неизменной энергии – используя в процессе лечения болусы – поглотители (слои тканезквивалентного материала), которые прикладывают к облучаемой поверхности при излишне большой проникающей способности частиц. Доза на коже при протонном облучении составляет около 30% максимальной, а при пи-мезонном облучении она еще меньше – приблизительно 15-20%.

Дистанционная статическая терапия злокачественных опухолей квантовыми излучениями проводится чаще всего посредством многопольного перекрестного облучения. При этом на опухоль направляется несколько пучков лучей (2-3-4) через различные участки кожи, так называемые входные поля. В условиях многопольного облучения для составления плана лечения и расчета топографодозиметрической карты больного особенно большой интерес представляют следующие вопросы: а) влияние размеров полей на величину и конфигурацию дозного максимума; б) зависимость суммации энергии и формирования дозового максимума от угла между пучками лучей; в) выбор направления центральных осей пучков и выбор точки их перекреста на топографоанатомической карте. Изменение размеров полей в условиях многопольного облучения ведет к пропорциональному изменению площади на топометрической схеме и, соответственно, объема тканей, занимаемого 80-100% изодозами. Поэтому увеличение размеров полей облучения является одним из действенных путей увеличения зоны и области перекреста пучков путей.

Для формирования дозного поля при статическом дистанционном облучении можно применять клиновидные фильтры, решетчатые диафрагмы, растры и блоки. Клиновидный фильтр, выполненный из сильно поглощающего лучи материала, вызывает

неравномерное ослабление пучка – более значительное на стороне толстой части клина. Преимущества применения клиновидных фильтров особенно наглядно выявляются при многопольном перекрестном облучении. Решетчатые диафрагмы обеспечивают неравномерное облучение благодаря прохождению лучей через чередующиеся закрытые и открытые свинцом участки. Наибольший перепад (градиент дозы) под открытыми и закрытыми участками диафрагмы имеется в поверхностных слоях объекта. В расположенных глубже тканях градиент дозы уменьшается за счет рассеянного излучения, увеличивающего дозу в экранированных участках. Помимо этого, градиент дозы зависит от размера отверстий решетчатой диафрагмы, диаметр которых обычно составляет 5-10 мм, и от соотношения площади открытых и экранированных свинцом участков (4:1; 3:1; 2:1; 1:1).

Дистанционная подвижная лучевая терапия. Подвижные методы лучевой терапии, по сравнению со статическими, создают принципиально новые варианты дозного распределения и устраняют опасность переоблучения кожи, с которой приходится считаться при планировании и выполнении всех программ статического облучения. Различают несколько вариантов подвижного облучения, каждому из которых свойственно своеобразное дозное распределение. При ротационном, секторном и конвергентном облучении пучок при любом положении источника постоянно падает на одну и ту же точку объекта. При этом возможно движение источника в одной плоскости (ротационное и секторное облучение) или в пределах конуса (конвергентное облучение). При ротационном облучении зона высокой дозы совпадает с осью вращения, имеется относительно малая доза на поверхности тела и хороший перепад дозы между очагами и окружающими тканями.

Контактные методы лучевой терапии. Всем контактными методам присуще сходное распределение энергии в объеме облучаемых тканей, которое характеризуется созданием высоких величин доз в тканях, прилежащих к поверхности источника излучения и резким падением на их ближайшем от источника расстоянии. Поэтому контактное облучение в самостоятельном виде находит применение лишь при небольших опухолях, не превышающих 1,5-2,0 см в диаметре. Большинство контактных методов сопровождается повышенной радиационной опасностью, в связи с этим наиболее широкое применение находят такие методы, как близкофокусная рентгенотерапия, внутрисполостная, тканевая и аппликационная гамма-терапия на шланговых аппаратах, при использовании которых лучевая нагрузка на персонал в значительной мере снижена.

Близкофокусная рентгенотерапия. К основным особенностям близкофокусной рентгенотерапии (БФР) относятся: генерирование излучения при напряжении не более 100 кВ, малое кожно-фокусное расстояние (до 7,5 см), небольшие поля облучения (до 25 см²). Применение высокого напряжения при генерировании излучения предопределяет его незначительную проникающую способность. Спектральное распределение рентгеновского излучения может быть изменено фильтрами, изготовленными из алюминия, а также величиной кожно-фокусного расстояния. Алюминиевые фильтры имеют вид пластин различной толщины и служат для подбора необходимого качественного состава пучка излучения за счет фильтрации длинноволнового спектра. Аналогичную роль выполняет и воздух: чем больше кожно-фокусное расстояние, тем больше поглощается длинноволновая часть энергетического спектра рентгеновского излучения. На практике используются только три варианта дозных характеристик, предложенные Шаулем. Принципиальная разница этих видов распределения энергии в тканях заключается в том, что в первом случае ослабление интенсивности излучения вдвое происходит на глубине 3,5 мм, во втором случае – на глубине 9 мм, в третьем – на глубине 12 мм. БФР со слоями половинной дозы (СПД) в 3,5 мм, 9 и 12 мм позволяет осуществить облучение патологических очагов с наиболее часто встречающейся глубиной залегания опухолей.

Так, например, первая и вторая дозные кривые используются при поверхностном поражении, а третья дозная кривая может применяться и при опухолях, расположенных на глубине около 1 см. При БФР интенсивность излучения и, соответственно, доза резко падают на ближайших от кожи расстояниях.

В настоящее время БФР находит широкое применение как самостоятельный метод лечения доброкачественных и злокачественных опухолей кожи (кератоакантомы, ангиомы, рака, и др.) и, реже, как составная часть комбинированного лечения опухолей полостных органов (рак полости рта, прямой кишки и др.)

Противопоказания к БФР:

1. Глубокие поражения кожи (рак на рубцах после ожога, волчанки, сифилиса, рецидив рака кожи после лучевой терапии).
2. Поражение глубже 12 мм, здесь предпочтительнее дистанционные методы облучения.

Внутриполостная и аппликационная лучевая терапия. Эти методы облучения осуществляются преимущественно с помощью закрытых радиоактивных источников и в очень ограниченных пределах – открытых радиоактивных препаратов. Под закрытым источником излучения (закрытым радиоактивным препаратом) понимают радиоактивное вещество, заключенное в такую оболочку или находящееся в таком физическом состоянии, при котором во время использования исключено распространение вещества в окружающую среду. В качестве закрытых источников наиболее часто используют иглы и трубочки с ^{137}Cs (энергия гамма-излучения 0,66 МэВ, период полураспада 30 лет) и препараты ^{60}Co (энергия гамма-излучения 1,17 и 1,33 МэВ, период полураспада 5,26 года). В последние годы широко используется ^{192}Ir (энергия гамма-излучения 0,30-0,61 МэВ, период полураспада 74,4 дня), так как он обладает высокой удельной радиоактивностью, что позволяет применять источники небольших размеров.

В качестве открытых источников употребляют пероральный прием ^{131}I , внутривенное введение ^{90}Sr и внутриполостное введение коллоидного раствора. Блок закрытых источников излучения включает специальные помещения и комнаты общепользовательного назначения. В блоке закрытых источников осуществляют внутриполостную гамма-терапию, а также аппликационную и внутритканевую лучевую терапию.

Внутриполостной метод облучения предназначен для подведения высокой поглощенной дозы к опухоли, расположенной в стенке полого органа, при максимальном щажении окружающих тканей. Внутриполостное облучение и внутритканевое облучение (источник излучения находится в тканях тела больного) осуществляют, последовательно вводя эндо- или интратат в полость тела или в ткани, а затем источник излучения – в эндо- или в интратат. Следовательно, облучения персонала во время процедуры не происходит. Подобный метод облучения получил название автолодинга (от англ. after – после, load – заряжать).

Аппликационный метод заключается в размещении закрытых радиоактивных аппаратов над поверхностно расположенными очагами поражения. Препараты располагают в муляже из пластмассы с таким расчетом, чтобы опухоль облучалась равномерно. Аппликационная β -терапия: применяется при лечении процессов, распространяющихся в поверхностных слоях (1-3 мм), а γ -терапия применяется в тех случаях, когда патологический процесс располагается на глубине 4 мм и не глубже 2-3 см от облучаемой поверхности. Аппликационная лучевая терапия проводится фракционно или непрерывно.

Внутритканевой метод лучевой терапии является разновидностью контактного облучения. Внутритканевая лучевая терапия показана при хорошо ограниченных небольших опухолях, объем которых можно определить довольно точно. Особенно

целесообразно применение внутритканевого облучения при опухолях подвижных органов (рак нижней губы, молочной железы, наружных мужских и женских половых органов) или при опухолях, требующих локального облучения (рак внутреннего угла глаза, века). Для проведения внутритканевой лучевой терапии используют источники гамма-излучений (^{60}Co , ^{192}Ir , ^{137}Cs), бета-излучения (^{90}Y , ^{32}P) нейтронного излучения (^{252}Cf). Источники излучения такие как ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{252}Cf используют для временного внедрения. Препараты изготавливают в виде гранул, покрытых снаружи золотом или платиной.

Сначала в опухоль вводят специальные интрастаты, изготовленные в виде пластмассовых или нейлоновых трубок в намеченном порядке, обеспечивающем равномерное облучение опухоли. Затем в просвет интрастатов вводят посредством шлангового аппарата источники излучения (метод последовательного введения).

Для постоянного облучения используют ^{198}Au , ^{90}Y , ^{32}P , которые вводят в опухолевую ткань в виде растворов при помощи инъекций, создающих равномерное облучение опухоли.

Облучение при внутритканевом методе проводится непрерывно, вследствие чего его воздействию подвергаются опухолевые клетки во все фазы клеточного цикла.

При этом облучению интенсивно подвергается опухолевая ткань при значительно меньшем лучевом воздействии на окружающие здоровые ткани.

Внутритканевая лучевая терапия является хирургической процедурой, поэтому она должна проводиться с соблюдением общих хирургических правил.

Состав курса лучевой терапии

Предлучевой период. В предлучевой период проводится подготовка к лечению. Ее следует начинать с психологической подготовки. Пациенту разъясняют необходимость лучевого воздействия, ее эффективность указывает на возможные изменения самочувствия и некоторые лучевые реакции, на особенности режима питания.

Следующим ответственным этапом служит клиническая топометрия. Предлучевой период завершается окончательным оформлением лечебного плана. Лучевой план – это набор документов клинико-радиобиологического и клинико-дозиметрического планирования, включающий как карту дозного распределения в теле пациента, так и рентгенограммы, сделанные через входные поля и подтверждающие правильность наводки пучка излучения на очаг. Полученная при помощи методов лучевой диагностики топографическая схема (в сущности, эскиз поперечного среза) должна непременно выполняться в том положении, в котором будет проводиться облучение. На эскиз поперечного среза наносят ориентировочные (центрационные точки) и определяют тем самым местоположение опухоли и критических структур. Топографическая схема (топографоанатомическая карта) является единственным документом, представляющим объективные данные о распределении доз в облучаемом объеме, в том числе, сведения о поглощенной дозе в самой опухоли, зонах регионарного метастазирования и в критических органах. Изготовление топографоанатомической карты является важным моментом в судьбе больного. 50% эффекта лечения, по данным ВОЗ, зависит от этого обстоятельства. Итак, для каждого больного при составлении программы лечения необходимо последовательно определить: 1) цель лечения; 2) решить вопрос о разовой и суммарной дозе; 3) выбрать метод облучения и источник ионизирующего излучения; 4) определить конкретные условия облучения: число и размеры полей, направление центральных пучков лучей.

Лучевой период. Лучевой период – это период проведения облучения при постоянном медицинском наблюдении за больным. Для облучения каждого поля больному придают удобное положение. Исключительно важна иммобилизация пациентов.

Правильность наводки пучка облучения проводят с помощью рентгеновского симулятора облучения. В процессе облучения врач или лаборант наблюдают за больным по экрану телевизора. Переговорные устройства обеспечивают двустороннюю связь врача и больного. По окончании облучения больному предписывают двухчасовой отдых на свежем воздухе или в палате с хорошей вентиляцией. Данные о каждом облучении заносят в протокол.

Постлучевой период. В постлучевом периоде даже при отсутствии клинически определяемых признаков лучевого поражения имеется снижение толерантности облученных здоровых тканей к дополнительным травмирующим воздействиям. Поэтому пациентам рекомендуется избегать физических и химических травм зон облучения. Абсолютно противопоказаны онкологическим больным независимо от срока и области облучения интенсивное ультрафиолетовое облучение, общие тепловые, грязевые и физиотерапевтические процедуры. Большое значение в постлучевом периоде имеют реабилитационные мероприятия.

Сущность медицинской реабилитации заключается в восстановлении утраченных или ослабленных функциональных и психологических особенностей больного, развитии компенсаторных механизмов посредством хирургического, медикаментозного, физического методов лечения, психотерапевтического воздействия, рационального протезирования, трудотерапии.

Различают следующие цели медицинской реабилитации: а) восстановительная – когда предполагается выздоровление пациента без значительной потери трудоспособности; б) поддерживающая – болезнь заканчивается потерей трудоспособности, но ее можно уменьшить адекватным лечением; в) паллиативная – предупреждение развития некоторых осложнений (пролежни, контрактуры, психические расстройства) при прогрессировании заболевания. Эти цели, учитывая неопределенность прогноза у онкологических больных, могут меняться во время лечения и последующего диспансерного наблюдения.

Реабилитация онкологического больного представляет собой процесс, который должен начинаться до применения того или иного лечения и продолжаться всю оставшуюся жизнь (раннее начало, непрерывность, преемственность). Больным с различными злокачественными новообразованиями реабилитация осуществляется поэтапно по индивидуально разработанной для каждого пациента программе в зависимости от его состояния, пола, возраста, стадии развития и локализации опухоли, предполагаемых методов лечения, состояния нервно-психической сферы больного, трудовой направленности, профессии и условий труда (индивидуальность). В определении объема и целей реабилитации должны принимать участие онкологи, психологи, физиотерапевты, протезисты и другие специалисты (комплексность).

Вне зависимости от нозологической формы и локализации опухоли выделяют следующие этапы медицинской реабилитации онкологических больных.

1. *Подготовительный этап.* Подразумевает выбор наиболее эффективного хирургического, лучевого, лекарственного, комбинированного либо комплексного лечения больного по радикальной программе, которое максимально сохранило бы анатомию и функцию пораженного органа или части тела. На этом этапе проводится подготовка больного к специальным методам лечения, позволяющая уменьшить риск развития осложнений противоопухолевой терапии (медикаментозный, психотерапевтический методы, ЛФК).

2. *Лечебный этап.* Заключается в проведении основного курса противоопухолевого лечения с обоснованно минимальными повреждениями здоровых тканей организма. Основными реабилитационными мероприятиями являются: выполнение органосохраняющих и реконструктивно-восстановительных операций, проведение

адекватного анестезиологического пособия.

3. *Ранний восстановительный этап.* Подразумевает определение и реализацию комплекса лечебно-восстановительных мер, направленных на получение оптимального лечебного эффекта и скорейшее восстановление жизнедеятельности больного. Основные реабилитационные мероприятия заключаются в профилактике и лечении общих и местных послеоперационных осложнений, лучевых поражений, побочных эффектов химиотерапии. С этой целью используют такие методы реабилитации как ЛФК, диетотерапию.

4. *Поздний восстановительный этап.* Реабилитационные мероприятия проводятся в виде самостоятельных курсов или же параллельно с противорецидивным лечением. Основной задачей этого этапа является компенсация и скорейшее восстановление дефектных функций организма. В этом периоде используется весь арсенал методов медицинской реабилитации (реконструктивно-восстановительные операции и протезирование, медикаментозный и физические методы, психотерапия, диетотерапия, трудотерапия).

В дальнейшем, по мере компенсации функциональных расстройств и адаптации пациента к имеющимся дефектам, ведущая роль в реабилитационном процессе отводится социальной и профессиональной реабилитации.

Направлять больных в местные санатории можно через 3-6 мес. после завершения радикального противоопухолевого лечения при отсутствии признаков возврата заболевания. На курорты – не ранее, чем через 6-12 мес. Перед направлением на санаторно-курортное лечение больные должны пройти полное обследование у онколога с последующей выдачей справки, срок действия которой составляет 1 мес. В местных санаториях или же на курортах той климатической зоны, где проживает больной, проведение лечения возможно в любое время года, на южных курортах преимущественно в осенне-зимний период.

Санаторно-курортное лечение наиболее показано больным, завершившим радикальное лечение по поводу опухолей желудочно-кишечного тракта.

Больным, перенесшим радикальное противоопухолевое лечение и не имеющим возврата болезни в течение 5 и более лет, возможно проведение санаторно-курортного лечения по поводу сопутствующих заболеваний (по показаниям).

При проведении санаторно-курортного лечения онкологическим больным противопоказаны: грязе-, торфо-, озокерито-, парафинотерапия, внутреннее и наружное применение радоновой, сероводородной, мышьяковистой, азотной воды, гелио- и ультрафиолетовая терапия, горячие ванны, высокочастотная электротерапия.

Не подлежат санаторно-курортному лечению больные: с подозрением на злокачественную опухоль до тех пор, пока это подозрение не будет отвергнуто; подлежащие радикальному противоопухолевому лечению, в том числе не закончившие лечение в виде послеоперационных курсов лучевой и химиогормональной терапии; с подозрением на рецидив или метастазы опухоли, пока это подозрение не будет отвергнуто.

Санаторно-курортное лечение противопоказано при тяжелых последствиях противоопухолевой терапии: выраженные пострезекционные расстройства после радикального лечения рака желудка, дефицит массы тела более 10 кг, тяжелые формы цитовидной и парациотовидной недостаточности после паратиреоидэктомии, выраженная сердечно-легочная недостаточность, лимфатический отек конечностей III—IV степеней, рецидивирующее рожистое воспаление на фоне вторичной лимфедемы конечностей, резко выраженные побочные эффекты химиотерапии, а также больным с далеко зашедшим опухолевым процессом, подлежащим только симптоматическому лечению, даже при общем удовлетворительном их состоянии.

Относительно противопоказано санаторно-курортное лечение пациентам, закончившим противоопухолевую терапию по поводу злокачественных новообразований, склонных к частому рецидивированию и метастазированию, местно-распространенных опухолей, а также после лечения рецидивов или метастазов, развившихся в сроки до 5 лет после излечения первичного опухолевого очага. Нежелательно направление на санаторно-курортное лечение пациентов, имеющих лучевые язвы кожи и слизистых оболочек, ректиты, циститы, кольпиты, эзофагиты, пульмониты, а также различного рода свищи (противоестественный задний проход, гастростома, фарингостома, трахеостома) и уродующие челюстно-лицевые дефекты.

После завершения курса санаторно-курортного лечения больные должны обследоваться у онколога 1 раз в 3 мес. в течение года. При отсутствии данных, свидетельствующих о прогрессировании опухолевого процесса и хорошем эффекте санаторно-курортного лечения, допустимо проведение повторного курса.

Глава VII. Ограничение медицинского облучения

Медицинское облучение при лучевой диагностике

В настоящее время основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением ионизирующего излучения. В табл. 7.1 представлены данные (А.Н. Стожаров и соавт., 2002), показывающие ведущую роль медицинского облучения среди антропогенных источников.

Таблица 7.1

Глобальная индивидуальная эффективная доза (мЗв) в 2000 году
от антропогенных источников

Источник	Глобальная годовая индивидуальная эффективная доза, мЗв	Диапазон или тенденция лучевых нагрузок
Медико-диагностические обследования	0,4	Границы от 0,04 до 1,0 мЗв при самом низком и самом высоком уровнях медицинского обслуживания
Ядерные испытания в атмосфере	0,005	Нагрузка уменьшилась с максимального значения 0,15 в 1963 г, она больше в северном и меньше в южном полушарии
Чернобыльская авария	0,002	Нагрузка уменьшилась с максимального значения 0,04 в 1986 г, (среднее в северном полушарии), она больше в местностях, близких к месту аварии
Производство атомной энергии	0,0002	Нагрузка увеличилась из-за расширения программы, но уменьшилась благодаря совершенствованию работы

Рентгенологическая диагностика. Наиболее распространенным видом излучения, применяемым в диагностических целях, являются рентгеновские лучи.

Данные результатов исследования показывают, что свыше 50% популяционной дозы облучения население получает за счет рентгенопрофилактических и

рентгенодиагностических процедур.

Таблица 7.2

Примерные значения эффективных доз при рентгенодиагностических исследованиях

Вид исследования Область исследования		Время, проекция	Примерное значение эффективной дозы Е (мЗв)					
			Возраст (лет)					
			0-5	0,5-1	1-5	5-10	10-15	> 15
Рентгено- скопия								
Органы грудной клетки	с УРИ	1 мин	0,5	0,4	0,3	0,4	0,6	0,9
	без УРИ	1 мин	-	-	-	-	-	1,4
	Прицельная	прямая	-	-	-	-	-	0,4
	рентгенограмма	боковая	-	-	-	-	-	0,6
Пищевод, желудок, 12-перстная кишка	с УРИ	1 мин	0,9	0,8	0,7	0,7	1,0	2,3
	без УРИ	1 мин	-	-	-	-	-	4,2
	Прицельная	прямая	0,05	0,16	0,24	0,48	0,45	0,45
	рентгенограмма	боковая	0,16	0,36	0,26	0,76	0,8	0,8
Кишечник	с УРИ	1 мин	1,1	0,9	0,8	0,9	0,7	2,2
	без УРИ	1 мин	-	-	-	-	-	3,6
	Прицельная	прямая	0,05	0,16	0,24	0,48	0,45	0,45
	рентгенограмма	боковая	0,16	0,36	0,26	0,76	0,8	0,8
Ретроград- ная пиело- графия (пи- елоскопия)	Трубка сверху	1 мин	-	-	-	-	-	1,8
	Трубка снизу	1 мин	-	-	-	-	-	2,0
Рентгенография пленочная								
Череп		Прямая	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
		Боковая	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Шейный отдел позвоночника		Прямая	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,06
		Боковая	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03
Грудной отдел позвоночника		Прямая	0,09	0,2	0,33	0,36	0,7	0,8
		Боковая	0,05	0,07	0,2	0,15	0,3	0,3
Поясничный отдел позвоночника		Прямая	0,05	0,15	0,42	0,7	0,6	1,7
		Боковая	0,09	0,06	0,28	0,4	0,7	1,2
Органы грудной клетки	На вертиграфе	Прямая	0,04	0,04	0,08	0,19	0,18	0,18
	Линейная томография Флюорограмма	Боковая	0,08	0,05	0,1	0,28	0,24	0,24
		1 снимок			5,1	5,3	5,6	5,6
		Прямая Боковая						0,5 1,1
Кости таза		Прямая	0,06	0,07	0,24	0,25	0,4	0,75
Мочевая система	Обзорная урограмма	1 снимок	0,05	0,22	0,32	0,65	0,88	0,85
	В/венная урограмма	3 снимка	-	-	-	-	-	2,5
Молочная железа		Прямая	-	-	-	-	-	0,2
		Боковая	-	-	-	-	-	0,2

Верхняя конечность	Плечевой сустав Ключица, лопатка Локоть, кисть	1 снимок	-	-	-	-	-	0,1
		1 снимок	-	-	-	-	-	0,5
		1 снимок	-	-	-	-	-	0,01
Нижняя конечность	Тазобедренный сустав	1 снимок	0,06	0,06	0,24	0,25	0,4	1,1
	Бедро	1 снимок	-	-	-	-	-	0,3
	Голень, стопа	1 снимок	-	-	-	-	-	0,01
Зубы (интра-орально)	Верхняя челюсть 1-5 6-8	1 снимок	-	-	0,02	0,01	0,01	0,26
		1 снимок	-	-	0,02	0,01	0,01	0,33
	Полный зубной статус	0 снимк	-	-	-	-	-	1,7
		Нижняя челюсть 1-5 6-8	1 снимок	-	-	0,02	0,02	0,02
	1 снимок		-	-	0,02	0,02	0,02	0,15
	0 снимк		-	-	-	-	-	1,0
	Полный зубной статус							
Ортопантомография		1 снимок	-	-	-	0,06	0,07	0,07

Таблица 7.3

Примерные значения эффективных доз при компьютерной томографии

Вид исследования Область исследования	Время, проекция	Примерное значение эффективной дозы Е (мЗв)			
		Возраст (лет)			
		1-5	5-10	10-15	> 15
Компьютерная томография					
Голова	Исследование	0,2	0,3	0,4	0,4
Грудная полость	Исследование	1,7	2,1	2,8	2,9
Брюшная полость, малый таз	Исследование	1,1	2,5	5,1	5,8

Таблица 7.4

Примерные значения эффективных доз при цифровой рентгенографии

Вид исследования Область исследования	Время, проекция	Примерное значение эффективной дозы (мЗв)			
		Возраст (лет)			
		5-10	10-15	> 15	
Цифровая рентгенография (сканирование)					
Череп	Прямая (сканирование 4 секунды)	-	-	0,004	
	Прямая (сканирование 8 секунд)	-	-	0,008	
	Боковая (сканирование 4 секунды)			0,005	
	Боковая (сканирование 8 секунд)			0,009	

Шейный отдел позвоночника	Прямая (сканирование 4 секунды)	-	-	0,009
	Прямая (сканирование 8 секунд)	-	-	0,018
	Боковая (сканирование 4 секунды)			0,005
	Боковая (сканирование 8 секунд)			0,009
Грудной отдел позвоночника	Прямая (сканирование 4 секунды)	-	-	0,02
	Прямая (сканирование 8 секунд)	-	-	0,039
	Боковая (сканирование 4 секунды)			0,015
	Боковая (сканирование 8 секунд)			0,03
Поясничный отдел позвоночника	Прямая (сканирование 4 секунды)	-	-	0,044
	Прямая (сканирование 8 секунд)	-	-	0,088
	Боковая (сканирование 4 секунды)			0,029
	Боковая (сканирование 8 секунд)			0,057
Органы грудной клетки	Прямая (сканирование 4 секунды)	-	-	0,015
	Прямая (сканирование 8 секунд)	-	-	0,029
	Боковая (сканирование 4 секунды)			0,015
	Боковая (сканирование 8 секунд)			0,03
Кости таза	1 снимок (сканирование 4 секунды)	-		0,11
	1 снимок (сканирование 8 секунд)			0,22
Верхняя конечность Плечевой сустав Ключица	1 снимок (сканирование 4 секунды)	-	-	0,006
	1 снимок (сканирование 8 секунд)	-	-	0,12
	1 снимок (сканирование 4 секунды)			0,015
	1 снимок (сканирование 8 секунд)			0,03
Нижняя конечность Тазобедренный сустав	1 снимок (сканирование 4 секунды)	-	-	0,053
	1 снимок (сканирование 8 секунд)			0,1

Из всех методов лучевой диагностики только рентгенологические и радионуклидные «in vivo» исследования связаны с воздействием ионизирующего излучения на организм пациента.

Радионуклидная диагностика дает значительно меньший вклад в коллективную эффективную дозу облучения населения, чем рентгенологические исследования (в 10 раз и более), что связано с меньшей частотой применения радионуклидных исследований в клинической практике. Вместе с тем, реальные эффективные дозы на одного пациента при некоторых видах радионуклидных исследований могут превышать дозы облучения от многих видов рентгенодиагностики. Как правило, эффективные дозы при использовании рентгенологических исследований превышают дозы от короткоживущих радиофармацевтических препаратов (РФП) (^{113m}In ; ^{99m}Tc), но при введении такого РФП как ^{67}Ga они значительно меньше.

В таблице 7.4 представлены данные о дозовых нагрузках на критический орган при диагностическом использовании основных радиофармацевтических препаратов (РФП).

Таблица 7.5

Дозовые нагрузки на критический орган при диагностическом использовании основных радиофармацевтических препаратов

Радио- нуклид	РФП	Основные назначения	Способ введе- ния	Вводимое количество на одно исследован ие, МБк	Крити- ческий орган	Доза излу- чения, мкГр/ МБк
^{99m}Tc	Коллоидные растворы	Сцинтиграфия печени, селезенки	Внутри- венно	40-100	Печень	57
^{99m}Tc	Натрий пертехнетат	Сцинтиграфия щитовидной железы	Внутри- венно	1-800	Щитовид- ная железа	92
^{99m}Tc	Альбумин	Радиокардио- графия	Внутри- венно	8-800	Кровь	14
^{99m}Tc	ДТПА (диэтилентри- аминопентаук- сусная кислота)	Динамическая сцинтиграфия почек	Внутри- венно	12-800	Почки	24
^{99m}Tc	Пирофосфат	Сцинтиграфия скелета	Внутри- венно	250-600	Кости	81
^{99m}Tc	ХИДА (диметиловое производное иминодиуксусной кислоты)	Гепатохолецисто- сцинтиграфия	Внутри- венно	100-400	Тонкая кишка	150
^{131}I	Натрия йодид	Исследование йодного обмена, функции и сцинтиграфия щитовидной железы	Внутрь, внутри- венно	0,04-2	Щитовид- ная железа	57000 0
^{131}I	Натрия ортоiodгип- пуран	Функциональное исследование почек	Внутри- венно	0,4-12	Стенка мочевых пузырей	3200
^{131}I	Альбумин	Радиокардио- графия	Внутри- венно	0,4-2	Все тело	460
^{131}I	Макроагрега-ты альбумина	Перфузионная сцинтиграфия легких	Внутри- венно	8-10	Легкие	1800
^{133}Xe	Ксеноно- воздушная смесь	Исследование регионарной вентиляции легких	Ингаля- ционно	80-100	Слизистая оболочка бронхов	17000 0

Таблица 7.6

Эффективная доза для пациентов различного возраста при внутривенном введении наиболее применяемых РФП из расчета на единицу введенной активности, мЗв/МБк

Радиофармпрепарат	Взрос- лый	15 лет	10 лет	5 лет	1 год
³² P-фосфат	2,20	3,00	5,10	10,0	22,0
⁵¹ Cr-ЭДТА	0,0023	0,0031	0,0046	0,0070	0,0130
⁵¹ Cr-эритроциты	0,26	0,33	0,52	0,80	1,50
⁶⁷ Ga-цитрат	0,12	0,16	0,25	0,40	0,79
⁷⁵ Se-селенметионин	3,0	3,8	6,5	9,2	15,0
^{99m} Tc-пертехнетат					
без блокировки щитовидной железы	0,013	0,016	0,025	0,040	0,073
с блокировкой щитовидной железы	0,0053	0,0066	0,0098	0,015	0,026
^{99m} Tc-альбумин	0,0079	0,0097	0,015	0,023	0,042
^{99m} Tc-ДТПА					
в норме	0,0063	0,0078	0,011	0,017	0,030
при сниженной функции почек	0,0053	0,0066	0,0097	0,015	0,026
^{99m} Tc-технефит					
в норме	0,014	0,018	0,028	0,041	0,073
при диффузных поражениях печени	0,017	0,019	0,029	0,043	0,076
^{99m} Tc-производные HIDA					
в норме	0,024	0,029	0,044	0,070	0,150
при паренхиматозных поражениях печени	0,013	0,016	0,024	0,037	0,075
^{99m} Tc-MAG3 (технемаг)	0,0079	0,0098	0,014	0,023	0,047
^{99m} Tc-фосфаты и фосфонаты (технефор, пирофосфат)					
в норме	0,0080	0,010	0,015	0,025	0,050
при нарушенной функции почек	0,0082	0,011	0,017	0,028	0,061
^{99m} Tc-макроагрегат альбумина	0,012	0,018	0,025	0,038	0,069
^{99m} Tc-эритроциты (in vivo мечение)	0,0081	0,0099	0,015	0,024	0,043
^{99m} Tc-DMSA	0,016	0,019	0,027	0,042	0,069
^{99m} Tc-микросферы	0,011	0,016	0,022	0,033	0,062
^{113m} In-элюат	0,013	0,017	0,028	0,046	0,092
¹¹¹ In-блеомицин	0,16	0,20	0,29	0,44	0,77
¹³¹ I-иодид натрия					
без блокировки щитовидной железы	24	37	56	120	220
с блокировкой щитовидной железы	0,072	0,088	0,140	0,210	0,410
¹³¹ I-альбумин	0,86	1,10	1,70	2,80	5,40
¹³¹ I-макроагрегат альбумина	0,50	0,70	1,00	1,60	3,10
¹³¹ I-гиппуран	0,066	0,083	0,13	0,19	0,37
¹³¹ I-бенгальский розовый	0,91	1,10	1,90	3,20	6,30
¹³³ Xe-раствор	0,00019	0,00026	0,00040	0,00064	0,00130
¹⁹⁸ Au-коллоид	1,50	2,10	3,30	5,30	10,0
²⁰¹ Tl-хлорид	0,23	0,36	1,50	2,00	3,00

Медицинское облучение при лучевой терапии

При лучевой терапии злокачественных опухолей поглощенные дозы ионизирующего излучения определяются клиническими показаниями в соответствии с принципами радиационной онкологии и направлены на достижение максимальной избирательности поражения опухолей. Так как дозы при этом используются большие, в отличие от лучевой диагностики, лучевое воздействие на пациентов может сопровождаться нестохастическими (детерминированными эффектами) со стороны здоровых тканей, однако при этом не должна быть превышена толерантность, т. е. предельная лучевая нагрузка, не приводящая к необратимым изменениям тканей (см. табл.7.6).

Таблица 7.7

Оценки приблизительных пороговых доз для клинически вредных нестохастических эффектов в различных тканях, основанные на реакциях пациентов на стандартное фракционирование рентгеновского или гамма-облучения

Орган	Повреждения через 5 лет	Доза, вызывающая эффект у 1 - 5% пациентов, Гр	Площадь поля облучения
Кожа	Изъязвление, фиброз	55	100 см ²
Слизистая рта	То же	60	50 см ²
Пищевод	Изъязвление, сужение канала	60	75 см ²
Желудок	Изъязвление	45	100 см ²
Тонкая кишка	Изъязвление, сужение канала	45	100 см ²
Толстая кишка	То же	45	100 см ²
Прямая кишка	То же	55	100 см ²
Слюнные железы	Сухость слизистой оболочки	50	50 см ²
Печень	Печеночная недостаточность	35	Целиком
Почки	Нефросклероз	23	Целиком
Мочевой пузырь	Изъязвление, контрактура	60	Целиком
Мочеточники	Сужение канала, закупорка	75	5 - 10 см ²
Семенники	Постоянная стерильность	5 - 10	Целиком
Яичники	То же	2 – 3	Целиком
Матка	Некроз, прободение	100	Целиком
Влагалище	Изъязвление, свищи	90	5 см ²
Молочная железа у детей	Отсутствие развития	10	5 см ²
Молочная железа у	Атрофия и некроз	50	Целиком

взрослых			
Легкие	Пневмонит, фиброз	40	Доля
Капилляры	Телеангиоэктазия, склероз	50 – 60	-
Сердце	Перикардит, панкардит	40	Целиком
Кости у детей	Задержка роста	20	10 см ²
Кости у взрослых	Некроз, переломы	60	10 см ²
Хрящ у детей	Задержка роста	10	Целиком
Хрящ у взрослых	Некроз	60	Целиком
ЦНС (головной мозг)	Некроз	50	Целиком
Спинной мозг	Некроз	50	5 см ²
Глаз	Панофтальмит, кровоизлияние	55	Целиком
Роговица	Кератит	50	Целиком
Хрусталик	Катаракта	5	Целиком
Ухо внутреннее	Глухота	60	Целиком
Щитовидная железа	Гипотиреоз	45	-
Надпочечник	Понижение функции	60	Целиком
Гипофиз	То же	45	Целиком
Мышцы у детей	Гипоплазия	20-30	-
Мышцы у взрослых	Атрофия	100	Целиком
Костный мозг	Гипоплазия	2	Целиком
Костный мозг	Гипоплазия	20	Локально
Лимфатические узлы	Атрофия	35 – 40	Локально
Лимфатические сосуды	Склероз	50	Локально
Плод	Гибель	2	Целиком

Меры по ограничению медицинского облучения

Целью защиты от излучения является устранение детерминированных лучевых поражений и снижение соматического и генетического риска для пациента и персонала.

Радиационная безопасность персонала и населения считается обеспеченной, если соблюдаются принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные Законом Республики Беларусь от 5 января № 122-З “О радиационной безопасности населения” (Ведамасці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь, 1998 г., №5, ст. 25), НРБ-2000 и действующими санитарными правилами.

В соответствии с НРБ-2000 для обеспечения нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения человека от всех источников излучения (принцип нормирования);
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических

и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

В разделе II НРБ 2000 «Требования к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях», глава 4 указывается:

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал;
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категории облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД);
- допустимые уровни многофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др;

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в приложении 1.

Таблица 7.8

Основные пределы доз облучения (Приложение 1 к НРБ-2000)

Нормируемые величины*	Пределы доз, мЗв	
	Персонал	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза**	150	15
коже***	500	50
кистях и стопах	500	50

*Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Относится к дозе на глубине 300 мг/см².

*** Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя - 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на

хрусталик от бета-частиц.

В стандартных условиях монофакторного поступления радионуклидов, определенных в разделе VII НРБ-2000, годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ПГП и ДОА, приведенных в приложениях 2 и 3, где пределы доз взяты равными 20 мЗв в год для персонала и 1 мЗв в год для населения.

В условиях нестандартного поступления радионуклидов величины ПГП и ДОА устанавливаются методическими указаниями республиканского органа санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превысит 1 мЗв.

Администрация предприятия обязана перевести беременную женщину на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения, со дня ее информации о факте беременности на период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать 1/4 значений, установленных для персонала.

В разделе IV «Требования к ограничению облучения населения», главе 10 НРБ-2000 указывается:

Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной информации или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются пределы доз, но используются принципы обоснования назначения радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациентов.

С целью снижения уровней облучения пациентов Министерством здравоохранения устанавливаются контрольные уровни медицинского облучения при рентгенологической и радионуклидной диагностике.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв.

Установленный предел годового профилактического облучения может быть превышен лишь в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования методов с большим дозообразованием. Такое решение о временном вынужденном превышении этого норматива профилактического облучения принимается Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Проведение научных исследований на людях с источниками излучения должно осуществляться по решению Министерства здравоохранения Республики Беларусь. При этом требуется обязательное письменное согласие испытуемого и предоставление ему информации о возможных последствиях облучения.

Лица (не являющиеся работниками рентгенорадиологического отделения), оказывающие помощь в поддержке пациентов (тяжелобольных детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур, не должны подвергаться облучению в дозе, превышающей 5 мЗв в год.

Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от пациента, которому с терапевтической целью введены радиофармацевтические препараты, не должна

превышать при выходе из радиологического отделения 3 мкЗв·ч.

При использовании источников облучения в медицинских целях контроль доз облучения пациентов является обязательным.

Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002) в главе 23 “Радиационная безопасность пациентов и населения при медицинском облучении” содержат требования:

Радиационная безопасность пациентов и населения должна быть обеспечена при всех видах медицинского облучения (профилактического, диагностического, лечебного, исследовательского) путем достижения максимальной пользы от рентгено-радиологических процедур и всесторонней минимизации радиационного ущерба при безусловном превосходстве пользы для облучаемых над вредом.

Медицинское облучение пациентов с целью получения диагностической информации или терапевтического эффекта проводится только по назначению врача и с согласия пациента. Окончательное решение о проведении соответствующей процедуры принимает врач-рентгенолог или врач-радиолог.

Медицинское диагностическое облучение осуществляется по медицинским показаниям в тех случаях, когда отсутствуют, или нельзя применить, или недостаточно информативны другие альтернативные методы диагностики.

Все применяемые методы лучевой диагностики и терапии должны быть утверждены республиканским органом государственного управления, ведающим вопросами здравоохранения. В описании методов необходимо отразить оптимальные режимы выполнения процедур и уровни облучения пациента при их выполнении.

Регламенты проведения всех видов рентгено-радиологических диагностических исследований должны гарантировать отсутствие детерминированных лучевых эффектов.

Облучение людей с целью получения научной медицинской информации может осуществляться по решению республиканского органа государственного управления, ведающего вопросами здравоохранения, в пределах установленных допустимых уровней облучения при обязательном письменном согласии обследуемых после предоставления им сведений о возможных последствиях облучения.

При проведении лучевой терапии должны быть предприняты все возможные меры для предотвращения лучевых осложнений у пациента.

Для рентгено-радиологических медицинских исследований и лучевой терапии должна использоваться аппаратура, зарегистрированная республиканским органом государственного управления, ведающим вопросами здравоохранения.

Отделения (подразделения) лучевой терапии и диагностики должны иметь и использовать при выполнении лечебно-диагностических процедур обязательный набор средств радиационной защиты пациента и персонала.

Наборы табельных средств защиты пациента и персонала в различных отделениях и кабинетах лучевой терапии и диагностики утверждаются республиканским органом государственного управления, ведающим вопросами здравоохранения.

Медицинский и технический персонал, выполняющий или обеспечивающий выполнение рентгено-радиологических исследований или радиотерапевтических процедур, должен иметь специальную подготовку по этим вопросам и периодически проходить переподготовку (усовершенствование). Персонал, не имеющий специальной подготовки, к данной работе не допускается.

Медицинский персонал, занимающийся рентгено-радиологической диагностикой и терапией, обязан осуществлять защиту пациента, поддерживая на возможно низком уровне индивидуальные дозы их облучения. Доза, полученная пациентом, подлежит регистрации.

Дозы облучения пациента от проведения каждого рентгено-радиологического

исследования и процедуры лучевой терапии должны вноситься в персональный лист учета доз медицинского облучения, являющийся обязательным приложением к его амбулаторной карте.

По требованию пациента ему предоставляется информация об ожидаемой или полученной дозе облучения и о возможных последствиях от проведения рентгенорадиологических процедур.

Медицинский персонал не имеет права прямо или косвенно влиять на увеличение облучения пациента в целях сокращения собственного профессионального облучения.

При введении пациенту радиофармацевтического препарата с терапевтической целью врач должен рекомендовать ему временное воздержание от воспроизводства потомства.

Введение радиофармацевтических средств с целью диагностики и терапии беременным женщинам не допускается.

При введении с целью диагностики или терапии радиофармацевтических препаратов кормящим матерям должно быть временно приостановлено кормление ребенка грудью. Срок прекращения грудного кормления зависит от вида и количества вводимого препарата и определяется отдельными инструкциями.

Защита пациентов при рентгенологических исследованиях. В «Санитарных правилах и нормах. Гигиенических требованиях к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований», 2004 г. указывается, что система обеспечения радиационной безопасности при проведении медицинских рентгенологических исследований должна предусматривать практическую реализацию трех основополагающих принципов радиационной безопасности – нормирования, обоснования и оптимизации.

Принцип нормирования реализуется установлением гигиенических нормативов (допустимых пределов доз) облучения.

Для практически здоровых лиц годовая эффективная доза при проведении профилактических медицинских рентгенологических процедур и научных исследований не должна превышать 1 мЗв (0,001 Зв).

Принцип обоснования при проведении рентгенологических исследований реализуется с учетом следующих требований:

- приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов;
- проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям;
- выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований;
- риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Принцип обоснования при проведении рентгенотерапии реализуется с учетом следующих требований:

- использование метода только в случаях, когда ожидаемая эффективность лечения с учетом сохранения функций жизненно важных органов превосходит эффективность альтернативных (нерадиационных) методов;
- риск отказа от рентгенотерапии должен заведомо превышать риск от облучения при ее проведении.

Принцип оптимизации или ограничения уровней облучения при проведении рентгенологических исследований осуществляется путем поддержания доз облучения на таких низких уровнях, какие, возможно, достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества диагностической информации или терапевтического эффекта.

Обеспечение радиационной безопасности при проведении рентгенологических исследований включает:

- проведение комплекса мер технического, санитарно-гигиенического, медико-профилактического и организационного характера;
- осуществление мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;
- информирование населения (пациентов) о дозовых нагрузках, возможных последствиях облучения, принимаемых мерах по обеспечению радиационной безопасности;
- обучение лиц, назначающих и выполняющих рентгенологические исследования, основам радиационной безопасности, методам и средствам обеспечения радиационной безопасности.

Пределы доз облучения пациентов с диагностическими целями не устанавливаются. Для оптимизации мер защиты пациента необходимо выполнять требования вышеуказанных пунктов Правил.

При достижении накопленной дозы медицинского диагностического облучения пациента 500 мЗв должны быть приняты меры по дальнейшему ограничению его облучения, если лучевые процедуры не диктуются жизненными показаниями.

При получении лицами из населения эффективной дозы излучения за год более 200 мЗв, или накопленной дозы более 500 мЗв от одного из источников облучения, или 1000 мЗв от всех источников облучения необходимо специальное медицинское обследование, организуемое органами управления здравоохранения.

В соответствии с инструкцией по применению, изданной в 2001 г. МЗ РБ «Контроль доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях», рекомендуются допустимые контрольные уровни для трех категорий обследуемых, нуждающихся в рентгенологической помощи разной степени.

При рекомендации установленных дозовых контрольных уровней приняты положения, основанные на известных современных радиобиологических представлениях, характеризующих линейную беспороговую зависимость “доза-эффект”. Одновременно учитывается основной принцип – сопоставление риска от проведения рентгенодиагностических исследований и получения необходимой диагностической информации.

Управление качеством методов визуализации должно быть организовано так, чтобы высокое качество изображения устанавливалось для столь малой дозы, насколько это возможно (А.Н. Михайлов, 2000).

При диагностических обследованиях тела пациента только 1/100 - 1/1000 часть первоначальной дозы проходит насквозь. Доза уменьшается также и вне вещества (тела), даже в воздухе. Интенсивность излучения, равно как и интенсивность света, уменьшается в обратной пропорции к квадрату расстояния от фокуса. Толщина тела пациента очень сильно влияет на входную дозу, необходимую для получения изображения.

На получаемую пациентом дозу радиации влияют следующие факторы:

1. Рентгенография (величина \times мА \times с \times число изображений) или рентгеноскопия (величина мА \times с \times длительность обследования).

2. Высокое напряжение (кВ) и его стабильность. Так, повышение напряжения на 10% снижает облучение на 15%. При напряжении 125 - 150 кВ облучение снижается в 2-2,5 раза по сравнению с напряжением 70-80 кВ.

3. Фильтрация рентгеновского луча.

Применение алюминиевых фильтров порядка 2-3 мм при повышенных напряжениях уменьшает экспозиционную дозу излучения на поверхности тела исследуемого в 3-5 раз. Применение дополнительного фильтра 0,2 мм меди снижает дозу в среднем еще на 25%.

4. Коллимация рентгеновского луча (блендирование).

Использование диафрагмы и тубусов позволяет регулировать величину поля облучения. При снимке только одно блендирование шириной 2 см по краю пленки 30×40 см уменьшает поверхностную дозу на 10%, а при снимке 18×24 см - на 20%. Кроме того, улучшается и качество снимка.

При работе с аппаратами без автоматического форматирования нужно производить блендирование вручную (признаком хорошей работы является наличие белого края со всех сторон пленки). При наличии формирующей автоматики, прежде всего, необходимо выбрать правильный формат кассеты. Затем проводится блендирование. Органы, особенно чувствительные к облучению, при хорошем блендировании не попадают в зону облучения. Кроме того, рентгеновская картина становится более контрастной, потому что возникает меньше рассеянного излучения.

Имеются измерительные приборы, которые позволяют определить произведение площадь \times доза при рентгенографии и рентгеноскопии. Существуют некоторые рентгеновские генераторы, которые с помощью дополнительных опций могут получить тот же результат расчетным путем на основе имеющихся данных об экспозиции. Наряду с этим они имеют систему обратной связи для снижающего дозовую нагрузку режима работы и дают правильный ответ о лучевой нагрузке.

5. Кожно-фокусное расстояние (КФР).

При увеличении КФР уменьшается не только входная, но и выходная экспозиционная доза. Для сохранения прежней величины выходной дозы излучения и качества изображения необходимо увеличить экспозицию или повысить напряжение. Поэтому их необходимо сочетать с фильтрацией и применением отсеивающей решетки, что приводит к уменьшению экспозиционной дозы в 1,5 - 2 раза.

6. Правильное определение позиции при рентгенографии. Например, снимок черепа в передне-задней проекции вызывает 50-100-кратную органную дозу на хрусталик глаза по сравнению с задне-передней проекцией. Далее, передне-задний снимок легких вместо задне-переднего дает 5-кратное увеличение дозы на молочную железу.

7. Чувствительность экрана, усилители и детекторы изображения.

Комбинации: рентгеновская пленка – экран усиливающий (РП-ЭУ) имеют важнейшее значение. В настоящее время стандартной является усиливающая фольга, содержащая материалы из группы редкоземельных металлов (например, гадолиний, лантан). Она является (при одинаковой четкости изображения) более чувствительной, чем фольга из вольфрамата кальция. Имеются комбинации “пленка - фольга” различной чувствительности, например, 200-я система нуждается лишь в половине дозы, необходимой для 100-й; градация предлагаемых систем осуществляется, как правило, с удвоением или делением пополам дозовой потребности (подобное существует и в фотографии). Более чувствительная фольга означает меньшую четкость. Оптимальными комбинациями РП-ЭУ для диагностических целей являются:

- 200-я SE-система (универсальный ЭУ, содержащий люминофор редкоземельных металлов);
- 100-я SE-система для решения задач, требующих более высокой разрешающей способности (например, кисть, предплечье, стопа);
- 400-я SE-система для случаев, где возможно меньшее разрешение (желудок, ободочная кишка, поясничный отдел позвоночника);
- 800-я SE-система дополнительно там, где имеется детская радиология.

8. Толщина тела пациента и поглощение излучения его тканями.

9. Свинцовая дифракционная отсеивающая решетка. Дифракционная решетка не применяется для снижения дозы, но она подавляет рассеянное излучение. Когда имеют дело с тонкими объектами, которые дают мало рассеянного излучения, можно отказаться от решетки при свободной регулировке съемочных параметров. Сюда входит:

- снимки конечностей в контактной технике,
- исследования грудных и маленьких детей,
- маммографические снимки с толщиной объекта ниже 5 см.

10. Использование сохранения изображения (при проведении исследований, при хирургических вмешательствах). Внедрение программно-аппаратных комплексов по обработке и архивации видеоизображений позволяет также значительно снизить дозу облучения пациентов.

Влияние физико-технических условий на степень облучения пациента необходимо рассматривать применительно к методам рентгенологического исследования и качеству излучения. Так, применение повышенных напряжений создает целый ряд преимуществ при использовании рентгенографии. В первую очередь становится видимым большое количество деталей, расположенных на различном уровне, уменьшается экспозиция. С сокращением экспозиции уменьшается и доза излучения на 30 - 45%.

Основными приемниками рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект, являются флюоресцирующие экраны. За счет их светоотдачи обеспечивается более 95% оптической плотности почернения рентгеновской пленки. Недостаточное свечение экранов в случае частичной потери ими светоотдачи компенсируют обычно увеличением тока трубки, что приводит к пропорциональному увеличению степени облучения больного. Что касается РП, то она в меньшей степени влияет на дозу облучения обследуемого, чем светоотдача ЭУ.

Помимо качества пленки и ЭУ, значительное влияние на уровень облучения пациента при рентгенографии оказывает соблюдение режима химической обработки пленки и качества проявления. Под режимом обработки пленки подразумевается температура проявителя и время обработки (проявления). Особенно важен последний фактор, так как рассматривание недопроявленной пленки обычно приводит к повышению экспозиции при повторном исследовании (А.Н.Кишковский, Л.А.Тютин, Г.Н.Есиновская, 1987).

При рентгеноскопии доза облучения существенно выше, чем при рентгенографии (см. табл. 7.1 и 7.2). Однако во многих случаях необходимо наблюдение просвечиваемого объекта в динамике. Наиболее значительное продвижение в решении проблемы снижения дозовой нагрузки при рентгеноскопии было достигнуто благодаря применению электронно-оптического преобразователя (ЭОП) в сочетании с телевизионной системой. Принцип действия ЭОП, или усилителя рентгеновского изображения (УРИ), состоит в преобразовании рентгеновского изображения в электронное с дальнейшим превращением электронного изображения в световое с повышенной, по сравнению с обычным флюоресцентным экраном, яркостью. Применение телевизионной установки в сочетании с ЭОП позволяет снизить в 3-5 раз получаемую при просвечивании дозу и значительно улучшить качество диагностического изображения. В последнее время для снижения дозы облучения при рентгеноскопии используется пульсовое просвечивание. Пульсовое просвечивание является методом, который, не уменьшая времени исследования, уменьшает время воздействия излучения. Это означает преобразование непрерывного излучения в отдельные лучевые импульсы и переработку сохраненного изображения в вариант полного изображения. При этом снижается доза облучения при сохранении качества диагностического изображения.

Правильное использование всех перечисленных физико-технических факторов, влияющих на степень облучения пациентов при рентгенологических исследованиях, полностью зависит от квалификации и ответственности персонала рентгенодиагностического кабинета. В ближайшее время практически во всех рентгеновских кабинетах будет установлена современная защитная и безопасная рентгенодиагностическая аппаратура, позволяющая максимально сократить лучевое

воздействие на пациента.

В настоящее время существует несколько различных методов оценки лучевой нагрузки при рентгенологическом исследовании по значениям дозы в воздухе, дозы на поверхности поля облучения, интегральной дозе, дозе облучения гонад, кроветворных органов и т.д. Хотя величина лучевой нагрузки зависит от каждого из указанных выше факторов, значение этих факторов (доз облучения) в каждом отдельном случае рентгенологического исследования различно и связано с локализацией процесса, возрастом, полом пациента и т.д.

Защита персонала при рентгенологических исследованиях. Наиболее подвержен облучению тот персонал, который непосредственно работает с источниками излучения или находится в зоне излучения (например, медсестры, поддерживающие маленьких детей).

При решении вопроса о защите медицинского персонала необходимо соблюдать следующие правила:

1. При проведении рентгенологических исследований необходимо работать быстро, максимально ограничить диафрагмой рабочий пучок излучения.
2. Использовать защитную одежду.
3. Находиться при проведении процедур на достаточном удалении от источников радиации.
4. Важное значение имеет определение показаний, выбор метода и алгоритма исследования. Речь идет о необходимом соотношении пользы и вреда.

Очень важны для обеспечения радиационной безопасности устройства сигнализации и знаки безопасности, предупреждающие персонал и больных о том, что в данном помещении проводится рентгенологическое исследование и рентгеновский аппарат работает.

Во время работы стационарного рентгенологического аппарата общего назначения персонал распределяется по рабочим местам следующим образом: врач находится за экраном - съемочным устройством (ЭСУ) поворотного стола-штатива в процедурной (если аппарат не снабжен УРИ), рентгенолаборант - за пультом управления в комнате для разделения больных или в фотолаборатории.

Рентгенолаборант помогает врачу в ходе проведения специальных сложных исследований: укладывает больного, подает кассеты и т. д. Санитарка приходит в процедурную по вызову врача: подает больному бариевую смесь, делает бариевую клизму, поддерживает тяжелобольного.

Защита врача-рентгенолога обеспечивается, в первую очередь, экранированием и сокращением времени пребывания в зоне облучения. Врач должен максимально ограничивать рабочий пучок излучения диафрагмой, пользоваться стандартными защитными средствами: ширмами, фартуками, юбками, защитными очками, перчатками.

Сокращение времени облучения достигается более тщательной подготовкой к исследованию, выбором оптимального метода, сокращением времени самого исследования, более тщательным отбором больных, подлежащих обследованию.

Если в кабинете используется аппарат с усилителем рентгеновского изображения, рентгенолог находится сбоку от ЭСУ (экранно-снимочное устройство) на расстоянии, позволяющем управлять аппаратом с пульта ЭСУ и при необходимости пальпировать больного.

Следует отметить, что при использовании УРИ (усилителя рентгеновского изображения) лучевая нагрузка на больного заметно уменьшается, однако врач в наименее защищенной зоне подвергается воздействию интенсивного рассеянного излучения. При работе с УРИ облучение врача может иногда превысить допустимый уровень. Для снижения мощности дозы на рабочем месте врача применяют дополнительную защиту

ЭСУ. Наиболее радикальной мерой защиты врача можно считать использование дистанционно-управляемых поворотных столов-штативов, дающее врачу возможность покинуть зону облучения.

Наиболее тяжелые радиационные условия для врача возникают при проведении ирригоскопии, когда обследуемый находится в горизонтальном положении. В этом случае врач и другие лица, участвующие в исследовании, обязаны пользоваться защитной одеждой, в частности, защитным фартуком. Проводить эти исследования, сидя на деке штатива, запрещается.

Аналогичные требования к защите персонала предъявляются при таких продолжительных исследованиях горизонтально лежащих больных, как рентгенобронхологические, ангиографические, рентгеноурологические под контролем УРИ, исследования в операционных. В этих исследованиях, кроме рентгенолога, участвуют хирург и анестезиолог, которые подвергаются большой лучевой нагрузке так как, во-первых, они располагаются вблизи источника излучения и поэтому находятся в наиболее опасной зоне; во-вторых, сосредоточив внимание на операции, они, как правило, не обращают внимания на облучение, а руки хирурга находятся в зоне прямого пучка лучей. Рентгенолаборант должен отключать аппарат сразу же, как минует необходимость в его работе. Рентгенолаборант, находящийся за пультом управления, лучше, чем врач, защищен стационарными защитными средствами, он наблюдает за исследованием через защитное смотровое окно, находящееся в стене между процедурной и комнатой управления. Это дает ему возможность сосредоточить больше внимания на показаниях прибора пульта и своевременном выключении аппарата.

Санитарка, обслуживающая рентгеновский кабинет, должна минимальное время находиться в процедурной при проведении исследования. Как только отпадает необходимость в ее помощи врачу и рентгенолаборанту, она должна покинуть зону облучения.

Находясь возле больного во время исследования, санитарка обязана быть в защитном фартуке и перчатках. При контрастном исследовании санитарка должна находиться за защитной ширмой.

Переносными и передвижными аппаратами оснащены травматологические пункты, заводские амбулатории, медико-санитарные части и крупные лечебно-профилактические учреждения. Работу на этих аппаратах выполняют, как правило, рентгенолаборанты и врачи-травматологи под периодическим контролем сотрудников рентгеновского отделения.

Переносные и передвижные аппараты эксплуатируются в помещениях, часто не имеющих стационарных средств радиационной защиты. Основным способом уменьшения облучения персонала на работе на этих аппаратах является его удаление от источников излучения. При производстве снимков рентгенолаборант, уложив больного, должен отойти на максимально возможное расстояние от рентгеновской трубки и включить аппарат. Если снимки производят в здании лечебного учреждения, лаборант должен пользоваться защитной ширмой. При выезде на предприятие или на квартиру вместо ширмы нужно пользоваться защитным фартуком. Рентгеновский излучатель при таких исследованиях должен быть установлен так, чтобы излучение было направлено в сторону, где нет людей.

Защита пациентов при радионуклидной диагностике. Проведение радиодиагностических процедур, как правило, связано с небольшой дозой излучения, неспособной вызвать нестохастические лучевые поражения, однако, как и в рентгеновской диагностике, не исключается возможность стохастических эффектов.

Также как и в рентгеновской диагностике проводится регламентация дозовых нагрузок на пациентов и персонал при радионуклидной диагностике. Однако защита

пациентов на основе физических принципов защиты от ионизирующей радиации в условиях радионуклидной «in vivo» диагностики возможна только за счет уменьшения количества вводимых в организм радионуклидов. Снижение дозовых нагрузок достигается использованием современных аппаратурных и методических возможностей при сохранении необходимой диагностической информации. Так, натрий йодид (Na^{131}I), вызывающий сравнительно большое дозовое воздействие, в настоящее время для диагностики практически не применяется. Выше указывались противопоказания к проведению радионуклидных «in vivo» исследований. Противопоказаний к радионуклидным «in vitro» исследованиям нет, так как при этих исследованиях радионуклиды в организм больного не вводятся.

Защита персонала при радионуклидной диагностике. Радиационная защита от внешнего облучения. При хранении, фасовке и введении радиофармацевтических препаратов в количестве нескольких десятков МБк дозы, получаемые персоналом от внешнего облучения, могут оказаться большими. Защита от внешнего излучения открытых радиоактивных источников должна предусматриваться не только при их расфасовке, но и в палатах, где находятся пациенты, которым радионуклиды введены в лечебных целях. При диагностическом использовании больших количеств активности короткоживущих радионуклидов, таких как $^{99\text{m}}\text{Tc}$, особенно сразу после введения их пациентам, также необходимо предусматривать радиационную защиту персонала. Внешнее облучение может произойти и от радиоактивных отходов. На выбор средств защиты влияют многие факторы, главными из которых являются: 1) физические характеристики излучения; 2) время действия излучения на персонал; 3) расстояние между источником излучения и рабочим местом; 4) степень экранирования и радиационные свойства защитного материала. Учет совокупностей этих факторов позволяет рассчитать и осуществить на практике радиационную защиту персонала от внешнего излучения и обеспечить неперевышение основных дозовых пределов. Из перечисленных факторов вытекают 3 принципа радиационной защиты: защита временем, расстоянием и экранированием.

Радиационная защита от внутреннего облучения. Задача защиты при внутреннем облучении более сложная, чем при внешнем, так как, когда радионуклид находится внутри организма, изменить условия в сторону усиления защиты практически невозможно.

Количество радионуклида, поступившего в организм, как и пути его поступления, зависят от ряда факторов, в частности, от активности препарата, характера проводимых работ, использования защитных приспособлений, соблюдения требований радиационной безопасности и организации санитарно-дозиметрического контроля. ОСП-2002 регламентируют количества активности радионуклидов на рабочем месте (защита количеством). Поступление радиоактивных веществ во внешнюю среду предупреждается защитными мероприятиями, основное назначение которых – не допустить бесконтрольное поступление радионуклидов в зону нахождения персонала. К этим мероприятиям относятся: автоматизация операций с открытыми источниками, использование герметизированных защитных камер, контейнеров и вытяжных шкафов, а также использование средств индивидуальной защиты.

Комплекс защитных мер при работе с радиоактивными веществами в открытом виде должен обеспечивать предотвращение загрязнения воздуха, рабочих поверхностей, кожных покровов и одежды персонала в рабочих и смежных помещениях. Защитные меры должны применяться также и против возможного загрязнения внешней среды – воздуха, воды и почвы.

На всех этапах работы с открытыми радиоактивными веществами, начиная от хранения и кончая непосредственным использованием, наряду с опасностью внешнего

облучения существует также опасность внутреннего облучения персонала при попадании радионуклида внутрь организма через органы дыхания и пищеварения и отчасти через кожные покровы. Одно и то же количество радиоактивного вещества при внутреннем облучении представляет большую опасность, чем при внешнем облучении, поскольку в первом случае организм подвергается непрерывному облучению до тех пор, пока радиоактивное вещество не распадется или не будет выведено. При этом слабо проникающие излучения, такие как бета-частицы, полностью поглощаются тканями.

Как правило, даже при авариях через органы пищеварения и дыхания в организм попадает только небольшая часть радионуклида. Поэтому правильное обращение с открытыми радиоактивными источниками, строгое выполнение инструкций по технике радиационной безопасности уменьшают риск внутреннего облучения. Все же опасность, связанная с использованием открытых радионуклидов в лечебных целях, когда применяются большие активности, остается значительной. Это же относится и к работе с генераторами короткоживущих радионуклидов при радиоизотопной диагностике.

К числу основных профилактических мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала, работающего с открытыми радиоактивными источниками, относятся следующие: 1) размещение и планировка помещений; 2) отделка помещений; 3) защитное и вспомогательное оборудование; 4) рациональные системы вентиляции и канализации; 5) сбор и удаление радиоактивных отходов; 6) выбор технологических режимов; 7) рациональная организация рабочих мест персонала; 8) соблюдение правил личной гигиены.

Требования к размещению и планировке помещений. В радиологических учреждениях, применяющих радиоактивные вещества в открытом виде, помещения для каждого класса работ сосредоточиваются в отдельном здании или в отдельной его части. При этом помещения для проведения работ с высокоактивными радионуклидами (лучевая терапия открытыми источниками) должны быть изолированы от помещений, в которых применяются открытые источники низкой активности (диагностика). Выполнение этого требования важно не только с точки зрения радиационной безопасности путем ограничения площади возможных радиоактивных загрязнений, но и с точки зрения создания благоприятных условий для эксплуатации высокочувствительной радиодиагностической аппаратуры.

Все работы с использованием открытых источников излучения разделяются на I класс, II класс, III класс. Класс работ устанавливается в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида и его физической активности на рабочем месте. Виды классов работ с открытыми радионуклидными источниками излучения представлены в приложении 12 к Правилам.

Таблица 7.9

Виды классов работ с открытыми радионуклидными источниками излучения
(Приложение 12 к ОСП-2002)

Класс работ	Суммарная активность на рабочем месте, приведенная к группе А, Бк
I класс	более 10^8
II класс	от 10^5 до 10^8
III класс	от 10^3 до 10^5

Отделения, применяющие открытые радиоактивные источники с лечебной целью, как правило, оборудуются в соответствии с требованиями к помещениям II класса работ. В радиодиагностических лабораториях по II классу работ создаются только хранилища и фасовочные. Остальные же помещения, предназначенные для радиодиагностических исследований, должны отвечать требованиям III класса работ.

К размещению и планировке помещений для работ III класса специальных требований нет. Работы этого класса производятся в отдельных помещениях.

Помещения для работ II класса изолируются от других помещений санитарным пропускником (душевой) с постом дозиметрического контроля.

Работы I класса в медицинских радиологических учреждениях не проводятся. Высота помещений для работы с открытыми радиоактивными источниками устанавливается в соответствии с общими строительными нормами. Площадь в расчете на одного работающего должна быть не менее 10 м².

Требования к отделке помещений. В отделке помещений, предназначенных для работы с открытыми радиоактивными источниками, необходимо сочетать требования эффективной дезактивации и профилактики зрительного утомления. Для помещений постоянного пребывания персонала рекомендуются светлые тона окраски стен. Отличные от них, но также светлые тона следует применять в помещениях временного пребывания.

Стены и потолки помещений покрываются специальными слабосорбирующими материалами и красками, стойкими к растворам кислот. Полы покрываются слабосорбирующими материалами, например, пластикатами специальных рецептур.

Для удобства уборки и дезактивации углы помещений закругляются. Края покрытий полов должны иметь простейшие профили, а подоконники – либо отсутствовать, либо быть скошенными. Полотна дверей – гладкие, щитовой конструкции. При наличии спецканализации полы должны иметь уклон и трапы.

Требования к защитному и вспомогательному оборудованию. В помещениях для работ II класса защиту от внешнего излучения обеспечивает набор защитных экранов. Для каждой манипуляции с открытыми радиоактивными источниками следует иметь специальное оборудование, соответствующее виду используемого радионуклида и его активности. Это оборудование должно включать передвижные защитные экраны, дистанционный инструментарий (щипцы, захваты, держатели, пинцеты), лотки, поддоны, кюветы и т.п. Дистанционные инструменты и местная экранировка обеспечивают достаточно надежную защиту от внешнего излучения бета- и гамма-источников активностью до нескольких сотен МБк. При работе с большими активностями может потребоваться специально сконструированное оборудование с дистанционным управлением ("горячие" камеры). Генераторы короткоживущих радионуклидов должны находиться в надежной защите, чтобы получение элюата не приводило к опасности внешнего облучения.

Помещение для работ II класса оборудуется вытяжными шкафами или боксами, способными обеспечить необходимую защиту. Для приготовления защитного и технологического оборудования используются слабосорбирующие материалы и покрытия, стойкие к дезактивационным растворам кислот и щелочей.

Оборудование и рабочая мебель должны иметь гладкие поверхности, простую конструкцию и слабосорбирующие покрытия, облегчающие удаление радиоактивных загрязнений. Применение мягкой мебели категорически запрещается. Оборудование, инструменты и мебель должны закрепляться за помещениями каждого класса и иметь соответствующую маркировку. Передача их из одного помещения в другое допускается только после тщательного радиометрического контроля.

Раковины и мойки для мытья загрязненной посуды и инструментария, а также умывальники должны быть снабжены кранами с локтевым или педальным управлением. Промывка унитазов в туалетах осуществляется педальным спуском воды. Дренажные трубы раковин-моек должны, по возможности, прямо соединяться с основной сточной трубой. Стоки должны быть доступными для периодического радиационного контроля.

Требования к вентиляции, канализации и отоплению. Вентиляционные и очистные устройства должны предотвращать загрязнение воздушной среды рабочих помещений и

атмосферного воздуха. Удаляемый из вытяжных шкафов и боксов воздух должен подвергаться перед выбросом в атмосферу очистке на эффективных фильтрах. Фильтры следует устанавливать непосредственно у шкафов и боксов. Распределение и удаление воздуха системами вентиляции по рабочим помещениям должны создавать общее направленное движение воздушных потоков из помещений с меньшим возможным радиоактивным загрязнением в помещения с большим загрязнением.

Расчетные скорости воздуха в рабочих проемах вытяжных шкафов и боксов должны быть не менее 1,5 м/сек.

Обязательным является устройство отдельных систем вентиляции для помещений, в которых проводятся работы с открытыми радиоактивными препаратами и для помещений, где такие работы не проводятся. Разрешается удалять вентиляционный воздух без очистки, если его суммарный выброс за год не превысит установленного для организации допустимого значения выброса. При этом уровни внешнего и внутреннего облучения населения не должны превышать установленных квот.

В хозяйственно-бытовую канализацию допускается сброс сточных вод, концентрация радиоактивности у которых не более чем в 10 раз превышает уровни вмешательства при поступлении с водой, приведенные в соответствии с НРБ-2000. Спецканализация с очистными сооружениями устраивается в том случае, когда жидкие радиоактивные отходы образуются объемом свыше 200 л ежедневно с удельной активностью, в 10 и более раз превышающей уровни вмешательства для воды. Приемники для слива радиоактивных растворов (раковины, трапы и т.п.) в системе спецканализации должны изготавливаться из коррозионностойких материалов. Конструкция этих приемников должна исключать возможность разбрызгивания растворов при сливе. В помещениях, где проводятся работы с открытыми радиоактивными источниками, рекомендуется устройство панельного отопления. В случае применения радиаторов они должны быть гладкими, удобными для дезактивации.

Сбор, хранение и удаление радиоактивных отходов. Радиоактивные отходы по агрегатному состоянию подразделяются на жидкие, твердые и газообразные.

К жидким радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы, в которых удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенные в приложении 3 НРБ-2000.

К твердым радиоактивным отходам относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие радиоактивные отходы, у которых удельная активность радионуклидов больше значений, приведенных в приложении 19 НРБ-2000, а при неизвестном радионуклидном составе удельная активность больше:

100 кБ/кг – для источников бета-излучения;

10 кБ/кг – для источников альфа-излучения;

1,0 кБ/кг – для трансурановых радионуклидов.

При малых количествах жидких радиоактивных отходов (до 200 л) они должны собираться в специальные емкости для последующего захоронения в специальных пунктах. В организациях, где возможно образование значительного количества жидких радиоактивных отходов (более 200 л в день), проектом должна быть предусмотрена система спецканализации. В спецканализацию не должны попадать нерадиоактивные стоки. Запрещается сброс жидких радиоактивных отходов в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию, водоемы, поглощающие ямы, колодцы, скважины, на поля орошения, поля фильтрации, в системы подземного орошения и на поверхность земли.

Твердые и подлежащие захоронению жидкие радиоактивные отходы, содержащие

радионуклиды с периодом полураспада не более 15 суток, выдерживаются в течение времени, обеспечивающего снижение активности до допустимых концентраций. После такой выдержки твердые отходы удаляются с обычным мусором, а жидкие – в хозяйственно-бытовую канализацию.

В радиологических подразделениях, в которых проводятся работы с открытыми радиоактивными источниками, назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и отправку на захоронение радиоактивных отходов. В процессе работы с открытыми радиоактивными источниками отходы собираются в специальные сборники-конвейеры жидких и твердых радиоактивных отходов. Сбор этих отходов производится раздельно. Сборники-конвейеры должны быть закрытого типа, а их внутренние поверхности – гладкими, выполненными из слабосорбирующих материалов и допускающими обработку специальными дезактивирующими растворами. Для временного хранения радиоактивных отходов в учреждении выделяется отдельное помещение, желательно вне стен здания, в котором работают люди. Помещение для временного хранения радиоактивных отходов должно иметь отделку, соответствующую требованиям II класса.

Захоронение радиоактивных отходов вне централизованных пунктов категорически запрещается.

Требования к технологическим режимам. Все работы, связанные с возможностью поступления радиоактивных веществ в воздух рабочих помещений должны производиться в камерах, боксах и вытяжных шкафах, оборудованных вытяжной вентиляцией и имеющих необходимую защиту. Все прочие работы можно производить на специальных лабораторных столах за защитными ширмами и экранами с использованием дистанционных инструментов и другого защитного оборудования.

Операции с радиоактивными веществами в боксах и вытяжных шкафах должны выполняться с помощью дистанционных инструментов или через перчатки, герметично смонтированные в фасадную стенку.

При возможности выбора радиоактивных источников для работы следует использовать радионуклиды меньшей радиотоксичности.

В каждом радиологическом подразделении, использующем радионуклиды в открытом виде, должны быть отработаны четкие технологические схемы и режимы работы с открытыми радиоактивными источниками.

На каждом этапе работы с открытыми радиоактивными препаратами, в соответствии с принятой технологической схемой и конкретными условиями, должны быть предусмотрены меры радиационной защиты, необходимый инструментальный и приспособления, последовательность операций, четкое взаимодействие сотрудников.

Выполнение всех этих требований направлено на обеспечение радиационной безопасности персонала.

Организация рабочих мест. При организации рабочих мест персонала размещение оборудования, аппаратуры и дистанционных инструментов, а также средств управления должно осуществляться с учетом зон доступности для работающего и обеспечение рационального чередования рабочих поз на основе антропометрических и психофизиологических показателей.

Количество радионуклида на рабочем месте должно быть минимально. Число операций, при которых возможны потери радионуклида, должно быть доведено до минимума. При работе с открытыми радиоактивными источниками следует пользоваться пластиковыми пленками, фильтровальной бумагой и другими подсобными материалами разового пользования для ограничения загрязнения рабочих мест, оборудования и помещений. Работы следует проводить на лотках, поддонах и кюветах, выполненных из слабосорбирующих материалов.

Оборудование, посуда и инструменты в рабочих помещениях должны маркироваться. Их нельзя использовать для работы в помещениях более низкого класса без тщательной радиометрической проверки.

Число людей в помещении, где выполняются операции с большими количествами активности, должно быть минимально, однако желательно, чтобы присутствовал сотрудник, который при необходимости мог бы оказать помощь работающему.

Знаками радиационной опасности отмечаются не только помещения, в которых ведутся работы с радионуклидами, но при необходимости отдельные части помещений и рабочие места, если там имеются особо высокие уровни излучений и существует опасность радиоактивного загрязнения.

Персонал должен быть надлежащим образом информирован о радиационной опасности, с которой связана его работа, и о необходимых мерах предосторожности. Он должен быть обучен надежным и эффективным методам радиационной защиты. Для каждого рабочего места должна быть разработана инструкция по технике радиационной безопасности, согласованная с конкретными условиями работы.

По окончании работы каждый сотрудник должен убрать свое рабочее место, отправить оставшиеся неизрасходованными радиоактивные препараты в хранилище и при необходимости дезактивировать наружную поверхность посуды, инструмента, рабочего стола до допустимых уровней. Проведение этих операций может осуществляться специально выделенными сотрудниками.

Правила личной гигиены. Персонал, работающий с радиоактивными веществами в открытом виде, обеспечивается индивидуальными средствами защиты в зависимости от вида и класса проводимых им работ. Так, при работах I класса и при отдельных работах II класса персонал обеспечивается комбинезонами, шапочками, спецбельем, носками, легкой обувью или ботинками, перчатками, полотенцами и носовыми платками разового пользования. При опасности радиоактивного загрязнения воздуха персонал также обеспечивается средствами защиты органов дыхания (респираторы, а при некоторых видах особо опасных работ – пневмокостюмы). При работах II класса и отдельных видах работ III класса персонал обеспечивается халатами, шапочками, перчатками, легкой обувью и при необходимости средствами защиты органов дыхания. Работы с радиоактивными растворами и уборка помещений должны производиться, кроме того, в пластиковых фартуках (полухалатах), нарукавниках и в спецобуви (пластиковые чулки, бахилы). Дополнительные средства защиты (пленочные, резиновые) должны после каждого употребления дезактивироваться в саншлюзе (санпропускнике).

Радиоактивное загрязнение спецодежды, индивидуальных средств защиты и кожных покровов персонала не должно превышать предельно допустимых загрязнений, установленных НРБ-2000. Загрязнение личной одежды и обуви не допускается. В случае загрязнения личная одежда и обувь подлежат дезактивации под контролем службы радиационной безопасности, а в случае невозможности дезактивации – захоронение в качестве радиоактивных отходов.

В помещениях для работ с открытыми радионуклидами запрещаются: пребывание персонала без необходимых индивидуальных защитных средств; хранение пищевых продуктов, табачных изделий, домашней одежды, косметических принадлежностей и других предметов, не имеющих отношения к работе; прием пищи, курение, пользование косметическими принадлежностями.

Во время работы с открытыми радиоактивными источниками в виде растворов, запрещается набирать их в пипетку ртом. Для этих целей необходимо применять автоматические пипетки, резиновые груши и шприцы с гибкими шлангами. При работе с высокоактивными радионуклидами рекомендуется применять дистанционно управляемые приспособления для расфасовки.

Открытые раны на поверхности кожи следует перевязывать и защищать до начала работы с радиоактивными веществами.

Для приема пищи в каждом радиологическом подразделении, использующем открытые радиоактивные источники, должно быть предусмотрено специальное помещение, оборудованное умывальником с подводкой горячей воды и дозиметрическим прибором для самоконтроля. Это помещение должно быть полностью изолировано от рабочих помещений, в которых проводятся работы с открытыми радиоактивными веществами.

Содержание и дезактивация рабочих мест и помещений. Во всех помещениях постоянного пребывания персонала, в которых проводятся работы с открытыми радиоисточниками должна проводиться ежедневная влажная уборка. Не реже одного раза в месяц проводится полная уборка с мытьем полов, стен, дверей и наружных поверхностей оборудования. Сухая уборка рабочих помещений запрещается. Уборочный инвентарь закрепляется за помещениями каждого класса работ и соответствующим образом маркируется. Для его хранения должно быть выделено специальное помещение. В этом помещении также должны храниться средства для ликвидации непредвиденных загрязнений (дезактивирующие растворы, посуда, ветошь и т.п.). Уборочный инвентарь следует подвергать периодическому радиометрическому контролю и, если это необходимо, отправлять на захоронение вместе с другими радиоактивными отходами.

В рабочих помещениях должен быть предусмотрен неснижаемый запас дезактивирующих средств и моющих растворов, подбор которых должен соответствовать применяемым радионуклидам и химическим соединениям, а также характеру поверхностей, подлежащих дезактивации. Эффективность удаления радиоактивных загрязнений контролируется радиометрическими приборами. Оборудование, инструменты и покрытия, не поддающиеся очистке до допустимых уровней, подлежат замене и рассматриваются как радиоактивные отходы.

Защита пациентов при лучевой терапии. При лучевой терапии злокачественных опухолей поглощенные дозы ионизирующего излучения определяются согласно клиническим показаниям в соответствии с принципами радиационной онкологии и направлены на достижение максимальной избирательности поражения опухолей. Так как дозы при этом используются большие, в отличие от лучевой диагностики, лучевое воздействие на пациентов сопровождается детерминированными эффектами со стороны здоровых тканей, однако при этом не должна быть превышена толерантность, т.е. предельная лучевая нагрузка, не приводящая к необратимым изменениям ткани. Лечебное использование источников ионизирующих излучений из рассмотрения частоты стохастических эффектов принято исключать, поскольку оно в большинстве случаев имеет место лишь при злокачественных новообразованиях. Лица, страдающие такими заболеваниями, в силу характера заболеваний и возраста, в котором они развиваются, не могут обусловить существенный вклад в генетически значимую дозу. С учетом латентного периода, присущего индуцируемым радиацией опухолям, является практически несущественным и риск возникновения новой опухоли в результате терапевтического облучения уже имеющегося новообразования. Вместе с тем, в лучевой терапии особое значение имеют детерминированные поражения, если учесть, что отклонение в подводимой дозе на 5% считается критическим как для излечения опухоли, так и для воздействия на нормальные ткани.

При этом используется принцип обоснования и оптимизации в соответствии с НРБ-2000. При проведении лучевой терапии должны быть приняты все возможные меры для предотвращения лучевых осложнений у пациента (ОСП-2002).

Самым важным для защиты больного в лучевой терапии является точное подведение правильно назначенной дозы излучения на зону опухолевого поражения при

минимально возможном облучении здоровых тканей.

В связи с этим предъявляются высокие требования к дозиметрическому обеспечению лучевого лечения. Для чего предусматривается оснащение радиологических отделений рентгенологическими симуляторами, дозиметрическими и планирующими системами.

Большое значение имеют рентгеновские компьютерные томографы, позволяющие с большой точностью перенести геометрические параметры облучаемых структур в компьютерную систему планирования облучения.

Контроль правильности выбранных полей облучения устанавливается с помощью специального рентгенодиагностического аппарата: – рентгенологического симулятора облучения, который позволяет проводить рентгеноскопию и рентгенографию для точной локализации поля облучения и выбора направления пучка излучения с учетом объема мишени.

Для выполнения сложных дозиметрических расчетов цифровые копии рентгеновских компьютерных томограмм переносятся в компьютерную систему планирования облучения. Для компьютера, используемого в планировании облучения, должна быть подготовлена программа гарантии качества, включая тестовую программу, чтобы иметь уверенность в том, что компьютерная система планирования облучения работает со стабильной точностью.

Планирование облучения при лучевой терапии с использованием открытых радионуклидных источников основано на учете метаболизма радиофармацевтического препарата, а также его физических характеристик. На основании этой информации, зная примерные значения масс органов и тканей, выполняются расчеты доз излучения как в объеме мишени, так и в органах и тканях, представляющих интерес.

При внешнем дистанционном облучении больного нужно укладывать так, чтобы укладка была воспроизводимой. Больной должен находиться в удобном положении; при необходимости используются средства иммобилизации. Эти средства применяют для воспроизведения положения больного при каждом сеансе облучения; они имеют особое значение, когда больному трудно самому сохранять желательное положение облучения.

Нужно заранее рассчитать и независимо проверить продолжительность облучения.

Для защиты нормальных тканей часто помещают в пучок излучения поглощающие материалы: фигурные блоки, клиновидные фильтры, решетчатые диафрагмы, компенсирующие фильтры.

Контроль характеристик пучка излучения и непосредственные измерения на пациенте осуществляются с помощью соответствующих дозиметров. При внешнем облучении дозные измерения должны давать дозы излучения в определенных точках при определенных условиях с погрешностью $\pm 3\%$. Измерения глубинных доз, коэффициентов ослабления клиновидных фильтров и приставок для блоков должны выполняться с погрешностью 0,5-2%. Активность используемого радионуклида следует знать с погрешностью $\pm 5\%$.

Имеются программы контроля качества оборудования для лучевой терапии, включая приемные испытания и периодические эксплуатационные испытания для проверки неизменности начальных условий.

Защита персонала при проведении лучевой терапии. По степени радиационной опасности методы лучевого лечения можно расположить в следующем порядке: внутрисполостная терапия с помощью традиционных методов введения радиоактивных препаратов, терапия с помощью шланговых аппаратов и дистанционная терапия.

Радиационная защита персонала при проведении дистанционной лучевой терапии зависит, главным образом, от качества стационарной защиты, продолжительности и количества укладок на гамма-аппаратах и системы мероприятий по предупреждению

аварийных ситуаций. Помещения для дистанционной лучевой терапии располагаются в отдельных зданиях или в изолированных частях лечебных корпусов. Из зала облучения во время сеанса удаляются все лица, кроме больного. Пульт управления выносится в смежное помещение, и связь с больным во время процедуры облучения поддерживается по телефону и с помощью замкнутой телевизионной системы. Вход в помещение, где находится мегавольтный источник или гамма-аппарат, выполняется в виде лабиринта.

С помощью блокировки защитной двери гарантируется невозможность внезапного появления персонала в зоне облучения.

В помещениях для дистанционной лучевой терапии запрещено проводить какие-либо работы, не предусмотренные должностной инструкцией и другими нормативными документами, если эти работы не направлены на предотвращение аварий и других обстоятельств, угрожающих здоровью работающих и нормальной работе учреждения.

Перезарядка гамма-терапевтических аппаратов должна производиться только специализированными организациями, имеющими разрешение СЭС на проведение этих работ.

При контактной лучевой терапии радиационная опасность для персонала заключается во внешнем облучении потоками гамма-квантов и бета-частиц (аппликаторы), что возможно на всех этапах работы с источниками. Радиационная безопасность при работе с закрытыми источниками гамма-бета-излучения реализуется двумя параллельными путями: применением защитных экранов, смотровых окон, дистанционных инструментов и правильной организацией работы, обеспечивающей минимальные затраты времени на проведение каждого этапа. Оба пути тесно связаны друг с другом и зависят от технологической схемы подготовки и проведения лечебной процедуры. При ручном выполнении все манипуляции, связанные с проведением контактной терапии, являются радиационно опасными. Переход от ручных манипуляций к максимально возможной автоматизации процессов перемещения и обработки радиоактивных препаратов может значительно повысить радиационную безопасность при проведении контактной лучевой терапии. Большое значение для радиационной безопасности имеют квалификация и опыт обслуживающего персонала: быстрота и точность манипуляций с радионуклидами заметно снижают дозу облучения. Повышает радиационную безопасность внедрение метода последующего введения препаратов. Этот метод позволяет сократить объем радиационно опасных работ, упростить и удешевить систему радиационной защиты персонала, не снижая ее надежности. При этом может быть уменьшено число сотрудников, подвергающихся облучению. Дозы облучения персонала, работающего на шланговых аппаратах с последующим введением препаратов, сопоставимы с уровнями облучения при работе на современных установках для дистанционной лучевой терапии и значительно ниже ПД.

Для защиты персонала, осуществляющего аппликационную бета-терапию, применяются комбинированные экраны из легких (оргстекло, алюминий) и тяжелых (железо, свинец) материалов. Легкие материалы поглощают потоки бета-частиц, а возникающее при этом тормозное излучение ослабляется в тяжелых материалах второго слоя. Помимо применения комбинированных экранов, рекомендуется использовать защитные перчатки, дистанционные инструменты и защитные очки.

При работе с закрытыми источниками излучений существует потенциальная опасность радиоактивного загрязнения кожных покровов, спецодежды и рабочих поверхностей за счет нарушения герметичности источников. Это необходимо учитывать при проведении санитарно-дозиметрического контроля. Проверку герметичности закрытых источников необходимо проводить регулярно по разработанным методикам (мазки сухими и влажными материалами с последующим радиометрированием в колодезном счетчике). Также необходим регулярный контроль за радиоактивной

загрязненностью рук, спецодежды, инструментария и рабочих поверхностей. При работе с закрытыми источниками малых размеров существует опасность его утери. В таких случаях необходимо иметь дозиметр-радиометр, с помощью которого можно незамедлительно приступить к поискам утерянного источника.

При работе с закрытыми источниками специальных требований к отделке помещений не предъявляют. Закрытые радиоактивные препараты, не пригодные по тем или иным причинам к дальнейшему использованию, считаются радиоактивными отходами и в установленном порядке сдаются на захоронение.

Глава VIII. Контроль радиационной безопасности

Контроль радиационный – получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль).

При контроле радиационной безопасности руководствуются положениями НРБ-2000 и ОСП-2002. В ОСП-2002 в главе 7 «Общие требования к радиационному контролю» указывается:

- Радиационный контроль должен охватывать все виды воздействия ионизирующего излучения на человека, перечисленные в НРБ-2000 (нормальная эксплуатация техногенных источников излучения, в результате радиационной аварии, от природных источников излучения, при медицинском облучении).
- Целью радиационного контроля является получение информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала, пациентов и населения при всех условиях жизнедеятельности человека, а также сведений обо всех регламентируемых величинах, характеризующих радиационную обстановку.
- Объектами радиационного контроля являются:
 - персонал при воздействии на него ионизирующего излучения в производственных условиях;
 - пациенты при выполнении медицинских рентгенорадиологических процедур;
 - население при воздействии на него природных и техногенных источников излучения;
 - среда обитания человека.
- Система контроля за радиационной безопасностью при обращении с источниками излучения должна разрабатываться на стадии проектирования. В разделе «Радиационный контроль» проекта определяются виды и объем радиационного контроля, перечень необходимых приборов, вспомогательного оборудования, размещение стационарных приборов и точек постоянного и периодического контроля, состав необходимых помещений, а также штат работников, осуществляющих радиационный контроль. Проект в данной части подлежит обязательному предварительному согласованию с органами государственного санитарного надзора.
- Система контроля, определенная проектом, уточняется в зависимости от конкретной радиационной обстановки на радиационном объекте, на прилегающей территории и согласовывается с органами и учреждениями, осуществляющими государственный санитарный надзор.
- Радиационный контроль организаций и территорий предусматривает проведение контроля и учета индивидуальных доз облучения работников (персонала) и населения. Регистрация доз облучения персонала и населения должна проводиться в соответствии с требованиями единой государственной системы контроля и учета доз облучения.

- Средства измерений должны применяться по назначению и периодически проходить поверку, калибровку и сличение в установленном порядке.
- Для лиц, у которых накопленная доза от одного из основных видов облучения превышает 0,5 Зв, должна проводиться реконструкция (восстановление) доз от остальных видов облучения.

Радиационный контроль в лучевой диагностике и лучевой терапии

Радиационный контроль в рентгенологических кабинетах проводится в соответствии с «Санитарными правилами и нормами. Гигиеническими требованиями к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований, 2004» и включает следующие требования:

- контроль мощности дозы излучения на рабочих местах персонала, в помещениях и на территории, смежных с процедурной рентгеновского кабинета. Проводится при технической паспортизации рентгеновского кабинета, получении санитарного паспорта;
- контроль технического состояния и защитной эффективности передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты. Проводится не реже одного раза в два года;
- индивидуальный дозиметрический контроль категории персонал. Проводится постоянно с регистрацией результатов измерений один раз в квартал;
- контроль дозовых нагрузок пациентов. Проводится при каждом рентгенологическом исследовании.
- Индивидуальные квартальные и годовые дозы облучения персонала фиксируются в карточке учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений (далее – карточка). Карточку следует хранить в учреждении в течение 50 лет после увольнения работника. Копия карточки учета доз работника в случае перевода его в другое учреждение передается на новое место работы. Данные об индивидуальных дозах облучения прикомандированных лиц сообщаются по месту основной работы. Ежегодно в установленные сроки администрация учреждения предоставляет региональному центру контроля и учета индивидуальных доз облучения сведения о дозах облучения персонала рентгеновских кабинетов в условиях нормальной эксплуатации и в условиях радиационной аварии (или планируемого повышенного облучения персонала) в соответствии с формами государственной статистической отчетности по индивидуальным дозам облучения граждан.
- Внеплановый радиационный дозиметрический контроль проводится при изменении условий эксплуатации рентгеновского кабинета (изменение назначения кабинета и/или смежных помещений, замена рентгеновской трубки, защитных средств, при аварийных ситуациях и др.). Объем радиационного контроля определяется характером изменения условий эксплуатации кабинета и согласовывается с территориальным учреждением госсаннадзора.
- Контроль эксплуатационных параметров медицинского оборудования включает:
 - периодический контроль параметров медицинского рентгеновского оборудования, находящегося в эксплуатации;
 - текущий контроль эксплуатационных параметров рентгеновского оборудования.

При истечении срока службы рентгеновской аппаратуры, указанного в технических условиях и стандартах, вопрос дальнейшей ее эксплуатации решается комиссией, созданной в учреждении с участием специалистов территориального учреждения госсаннадзора после проведения измерений технических и радиационных параметров.